หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖

ชีววิทยา
เล่ม ๕

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑



๘๘.-

หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชีววิทยา

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๑

ISBN 978-616-362-911-1

จำนวน ๑๘๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๓

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง ขออนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้วอนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๖ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๓

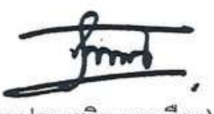
(นายอำนาจ วิชยานุวัติ)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรของสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(นายประเสริฐ บุญเรือง)
ปลัดกระทรวงศึกษาธิการ

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ชีวภาพ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ชีวภาพได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม ๕ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นต้องเรียนประกอบด้วยเรื่องระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต และพฤติกรรมของสัตว์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ วิศวกร เทคนิคการแพทย์ วิทยาศาสตร์การกีฬา เทคโนโลยีชีวภาพ ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม ๕ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนจะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

1 คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่ผู้เรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งผู้เรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

2 จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งผู้เรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

3 ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งผู้เรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหานั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

4 ชวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

5 ตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

6 ลองทำดู

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติด้วยตนเองนอกเวลาเรียนได้

7 กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งผู้เรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

8 ตัวอย่าง

การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งผู้เรียนสามารถศึกษาเพื่อให้มีความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น

9 กิจกรรมเสนอแนะ

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้

10 ความรู้เพิ่มเติม

ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

11 รู้หรือไม่

ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

12 การเชื่อมโยงความรู้

เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ

13 กรณีศึกษา

ตัวอย่างข้อมูลจากการศึกษาหรืองานวิจัยที่สอดคล้องกับความรู้ในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนศึกษาวิเคราะห์จากกรณีจริง

14 สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

15 แบบฝึกหัดท้ายบท

คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้ผู้เรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

สารบัญ บทที่ 18 - 22

สารบัญ บทที่ 18 - 22

สารบัญ บทที่ 18 - 22

บทที่ 18 | ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก

ipst.me/10774



การเล่นดนตรี เช่น การเล่นเปียโน ต้องใช้ประสาทสัมผัสและการทำงานประสานกันของระบบต่าง ๆ ของร่างกาย โดยมีระบบประสาทควบคุม ออกคำสั่งไปยังกล้ามเนื้อโครงร่างบริเวณแขนและนิ้วมือให้กดคีย์บอร์ดเปียโน แต่การที่เล่นเปียโนได้นั้น ผู้เล่นต้องอ่านโน้ตเพลงซึ่งเป็นสิ่งเร้าที่ให้ข้อมูลเข้าสู่สมองที่มีหน้าที่ประมวลผลว่าเป็นตัวโน้ตใดที่ผู้เล่นได้มีประสบการณ์หรือมีการเรียนรู้มาก่อนเพื่อตัดสินใจที่จะกดคีย์บอร์ดเปียโนตามตัวโน้ตนั้น แล้วสมองจะสั่งการไปที่กล้ามเนื้อโครงร่างที่นิ้วมือเพื่อกดคีย์บอร์ดให้ถูกต้อง **กลไกการรับรู้และตอบสนองดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างไร และมีโครงสร้างหรืออวัยวะใดเกี่ยวข้องบ้าง**

คำถามสำคัญ

1. **สัตว์รับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้อย่างไร**
2. **ระบบประสาทของมนุษย์มีโครงสร้างและการทำงานอย่างไร**
3. **อวัยวะรับความรู้สึกของมนุษย์มีโครงสร้างและการทำงานอย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ของระบบประสาทของไฮดรา พลานาเรีย ไส้เดือนดิน กุ้ง หอย แมลง และสัตว์มีกระดูกสันหลัง
2. อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ประสาท
3. ระบุชนิดของเซลล์ประสาทที่จำแนกตามจำนวนเส้นใยประสาทและหน้าที่
4. อธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาท
5. อธิบายเกี่ยวกับกลไกการเกิดกระแสประสาทและการถ่ายทอดกระแสประสาท
6. อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทรอบนอก
7. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ของสมอง และไขสันหลัง
8. สืบค้นข้อมูล อธิบายการทำงานของระบบประสาทโซมาติกและระบบประสาทอัตโนวัติ
9. เปรียบเทียบและยกตัวอย่างการทำงานของระบบประสาทโซมาติกและระบบประสาทอัตโนวัติ
10. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของตา
11. สังเกตและอธิบายการหาตำแหน่งของจุดบอดและโฟเวีย
12. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของหู
13. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของจมูก
14. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของลิ้น
15. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของผิวหนัง
16. สังเกตและอธิบายความไวในการรับสัมผัสของผิวหนังในแต่ละบริเวณ
17. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างโรคที่เกี่ยวข้องกับตา หู จมูก ลิ้น และผิวหนัง และนำความรู้มาใช้ในการดูแลรักษาและป้องกันอันตรายอวัยวะรับความรู้สึกต่าง ๆ

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

○ 1. เซลล์ประสาทประกอบด้วยตัวเซลล์และเส้นใยประสาท

○ 2. ศูนย์กลางของระบบประสาทของสัตว์มีกระดูกสันหลังประกอบด้วยสมองและไขสันหลัง

○ 3. เดนไดรต์เป็นเส้นใยประสาทที่ทำหน้าที่รับกระแสประสาท ขณะที่แอกซอนทำหน้าที่ส่งกระแสประสาท

○ 4. การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาทกับเซลล์ประสาทหรือเซลล์อื่น ๆ ส่วนใหญ่ต้องใช้สารสื่อประสาท

○ 5. ไซแนปส์เป็นบริเวณที่อยู่ชิดกันระหว่างปลายแอกซอนของเซลล์ประสาทเซลล์หนึ่งกับตัวเซลล์หรือส่วนของเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่ง

○ 6. การเกิดรีเฟล็กซ์ของการกระตุกขาเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่าถูกควบคุมด้วยไขสันหลังและสมอง

○ 7. ทาลามัสควบคุมสมดุลของน้ำในร่างกาย

○ 8. ลิ้นแต่ละส่วนสามารถรับรสได้เพียงรสเดียวเท่านั้น

○ 9. ผู้ที่มีสายตาสั้นแก้ไขให้มองเห็นภาพชัดเป็นปกติได้โดยการใส่แว่นที่มีเลนส์นูน ส่วนผู้ที่มีสายตายาวแก้ไขได้โดยการใส่แว่นที่มีเลนส์เว้า

○ 10. ขี้ไคล คือผิวหนังที่หลุดลอกจากผิวหนังชั้นหนังกำพร้า

ขณะที่อ่านโน้ตเพลงเพื่อเล่นเปียโน สมองได้รับข้อมูลจากการมองเห็นตัวโน้ตเพลงด้วยตาซึ่งจัดเป็นอวัยวะรับความรู้สึกที่เป็นหน่วยรับความรู้สึกอย่างหนึ่ง จากนั้นสมองจะเกิดการประมวลผลข้อมูลจากสิ่งที่ตาเห็น ซึ่งการประมวลผลของสมองจะมีการส่งสัญญาณให้ผู้เล่นเปียโนตอบสนองโดยการใช้นิ้วมือกดคีย์บอร์ดเปียโนจนเกิดเป็นเสียงเพลงขึ้น **การตอบสนองดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างไร**

18.1 การรับรู้และการตอบสนองของสัตว์

ในการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตจะเป็นการตอบสนองต่อ**สิ่งเร้า** (stimulus) ทั้งสิ่งเร้าภายในร่างกายและสิ่งเร้าภายนอกร่างกาย สิ่งเร้าดังกล่าวทำให้สิ่งมีชีวิตมีการรับรู้และตอบสนองในรูปแบบที่แตกต่างกัน การรับรู้เพื่อตอบสนองของสิ่งมีชีวิตโดยทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบดังรูป 18.1

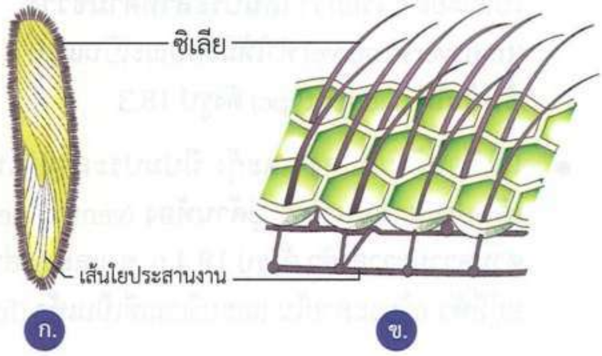


รูป 18.1 องค์ประกอบในการรับรู้เพื่อตอบสนองของสิ่งมีชีวิต

ในบางกรณีการตอบสนองของสัตว์จะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง**ระบบประสาท** (nervous system) และ**ระบบต่อมไร้ท่อ** (endocrine system) โดยระบบประสาทจะควบคุมการตอบสนองที่เกิดขึ้นและสิ้นสุดเร็ว เช่น การวิ่งหนีสัตว์ดุร้าย ระบบประสาทจะสั่งให้กล้ามเนื้อหดตัว ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว ส่วนระบบต่อมไร้ท่อจะควบคุมการตอบสนองที่เกิดขึ้นช้ากว่า แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะมีผลต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่น การเต้นของหัวใจที่ยังถี่ เร็ว และแรง ถึงแม้จะหนีพ้นจากสัตว์ดุร้ายแล้วก็ตาม

ความรู้เพิ่มเติม

สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวบางชนิด เช่น พารามีเซียม ไม่มีเซลล์ประสาทแต่ยังสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ เช่น มีการเคลื่อนที่เข้าหาหรือหนีแสงสว่าง อุณหภูมิ หรือสารเคมี จากการศึกษาพบว่าพารามีเซียมมีเส้นใยเชื่อมโยงระหว่างโคนของซิเลีย เรียกว่า เส้นใยประสานงาน (coordinating fiber) ดังรูป ซึ่งควบคุมการพัดโบกของซิเลียเพื่อให้เคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่ต้องการได้

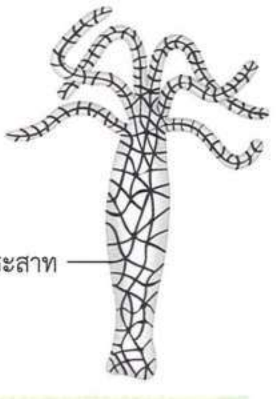


โครงสร้างที่เกี่ยวกับการตอบสนองของพารามีเซียม
ก. ซิเลียรอบ ๆ พารามีเซียม
ข. เส้นใยประสานงาน

18.1.1 การตอบสนองของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง

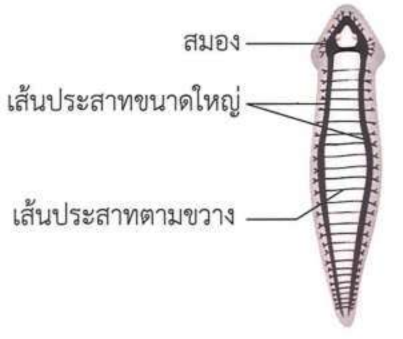
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังมีการพัฒนาของระบบประสาทซับซ้อนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิวัฒนาการของสัตว์กลุ่มนั้น ทำให้มีการรับรู้และการตอบสนองที่แตกต่างกัน เช่น

- ฟองน้ำ เซลล์แต่ละเซลล์สามารถรับรู้และตอบสนองได้ แต่ไม่มีเซลล์ที่ทำหน้าที่ประสานงานระหว่างเซลล์ต่าง ๆ โดยเฉพาะ
- ไฮดรา มี**ร่างแหประสาท** (nerve net) ประกอบด้วยเซลล์ประสาทเชื่อมโยงกัน ดังรูป 18.2 เมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้นจะเกิด**กระแสประสาท** (nerve impulse) เคลื่อนไปตามเซลล์ประสาทที่สานกันเป็นร่างแหจากจุดที่ถูกกระตุ้นและกระจายไปทั่วทั้งตัว ทำให้ไฮดราสามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้



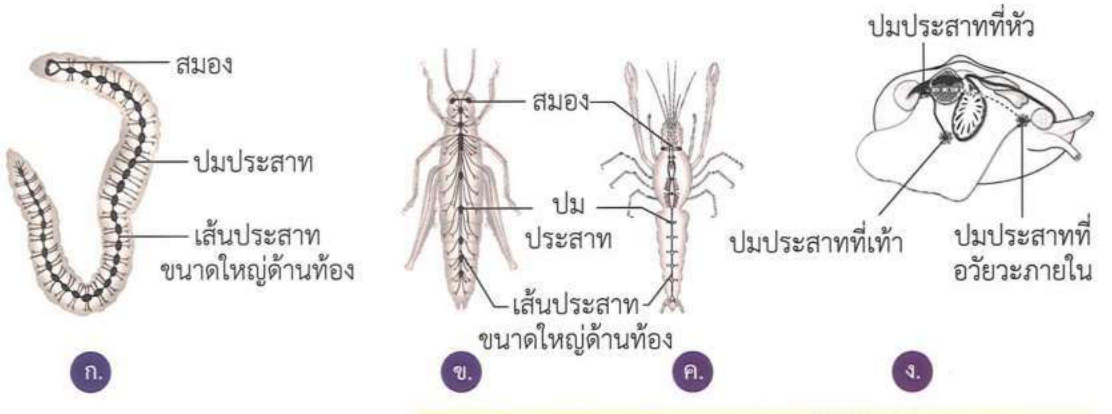
รูป 18.2 ร่างแหประสาทของไฮดรา

- พลานาเรีย มีเซลล์ประสาทรวมกันเป็นกลุ่มโดยเฉพาะบริเวณส่วนหัวเรียกว่า **ปมประสาท** (nerve ganglion) หรืออาจเรียกว่าสมอง ด้านล่างของปมประสาทยังมีเส้นประสาทที่แยกออกทั้งสองข้างของลำตัวเรียกว่า **เส้นประสาทขนาดใหญ่** (nerve cord) ยาวขนานไปตามลำตัวจากหัวจรดท้าย และระหว่างเส้นประสาทนี้มีเส้นประสาทเชื่อมเป็นระยะ ๆ เรียกว่า **เส้นประสาทตามขวาง** (transverse nerve) ทำให้มีลักษณะเป็น**แบบขั้นบันได** (ladder type) ดังรูป 18.3



รูป 18.3 ระบบประสาทของพลานาเรีย

- ไส้เดือนดิน แมลง และกุ้ง มีปมประสาทที่ใหญ่ขึ้นทำหน้าที่เป็นสมองอยู่ด้านหัว มี**เส้นประสาทขนาดใหญ่ด้านท้อง** (ventral nerve cord) ที่มีปมประสาทอยู่เป็นระยะ ๆ ตามความยาวลำตัว ดังรูป 18.4 ก. ข. และ ค. ส่วนสัตว์ในกลุ่มหอยและหมึกมีปมประสาทอยู่ที่หัว อวัยวะภายใน และบริเวณที่เป็น**เท้า** (foot) ดังรูป 18.4 ง.



รูป 18.4 ระบบประสาทของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิด
ก. ไส้เดือนดิน ข. แมลง ค. กุ้ง ง. หอย

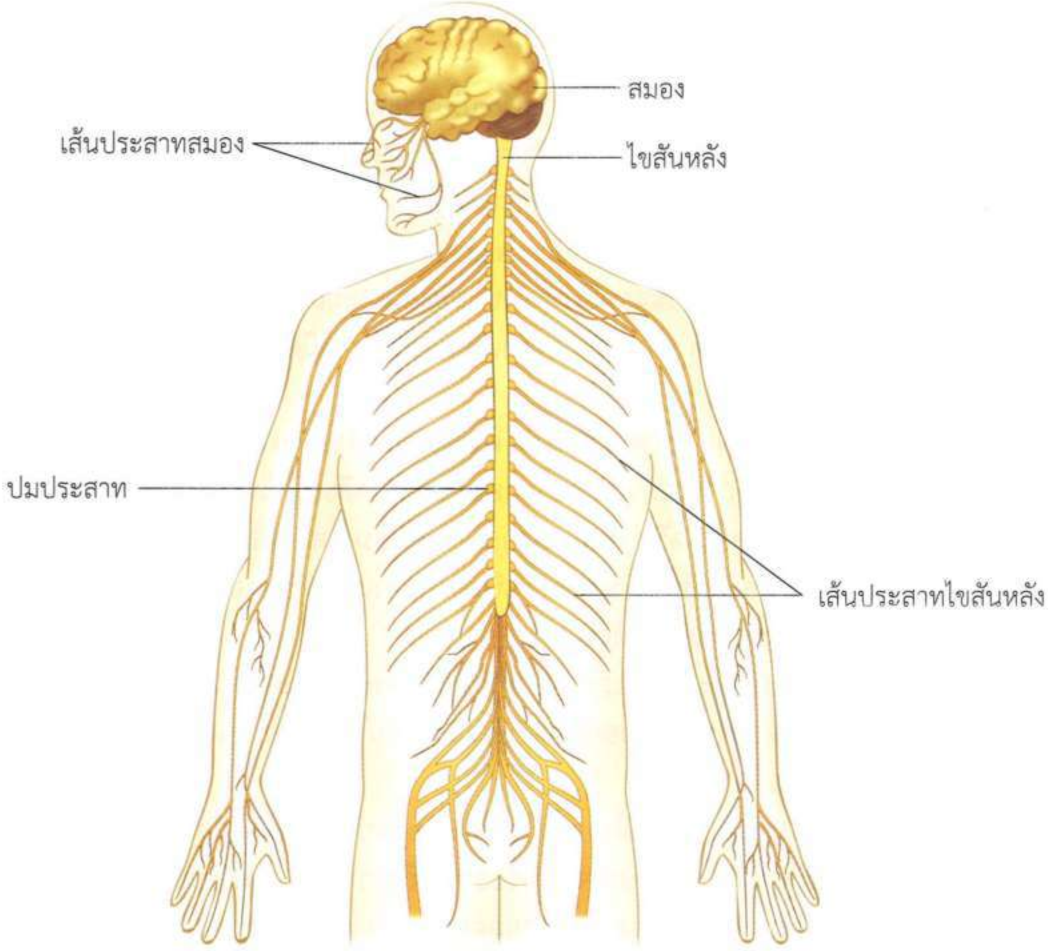
? ไฮดรา พลานาเรีย ไส้เดือนดิน แมลง กุ้ง และหอยมีโครงสร้างของระบบประสาทแตกต่างกันอย่างไร

? การที่พลานาเรีย ไส้เดือนดิน แมลง กุ้ง และหอย มีปมประสาทอยู่บริเวณหัวมีผลต่อการรับรู้และการตอบสนองอย่างไร

? สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังชนิดอื่นมีระบบประสาทที่มีโครงสร้างแบบอื่นอีกหรือไม่ อย่างไร

18.1.2 การตอบสนองของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

มนุษย์และสัตว์มีกระดูกสันหลังมีระบบประสาทที่พัฒนามาก เซลล์ประสาทส่วนใหญ่รวมกันอยู่ที่ส่วนหัวเรียกว่า **สมอง** (brain) ซึ่งมีขนาดใหญ่และเจริญมาก และมีส่วนที่ทอดยาวตามลำตัวทางด้านหลังเรียกว่า **ไขสันหลัง** (spinal cord) สมองและไขสันหลังทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของระบบประสาท รักษาดุลยภาพของร่างกาย โดยมี**ปมประสาท** (nerve ganglion) และ**เส้นประสาท** (nerve) แยกออกมาจากสมองและไขสันหลัง ดังรูป 18.5



รูป 18.5 สมอง ไขสันหลัง เส้นประสาท และปมประสาท

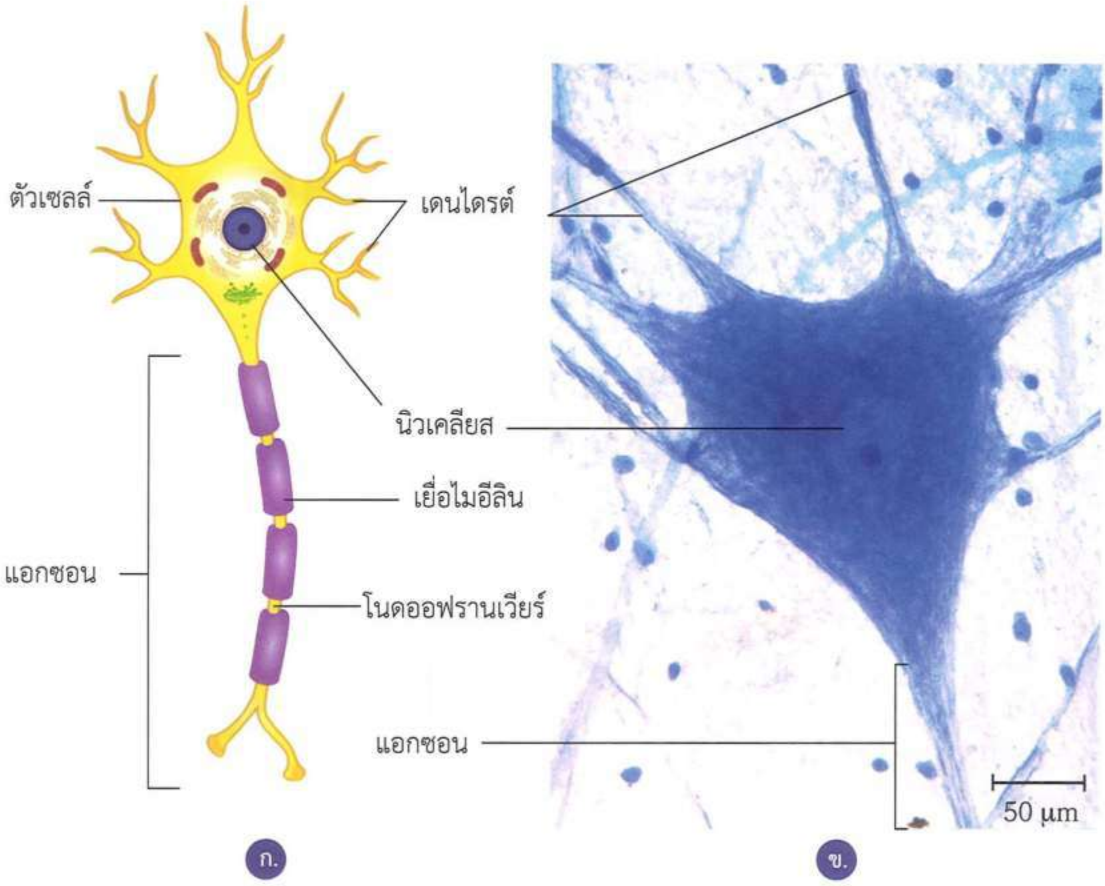
18.2 โครงสร้างและการทำงานของเซลล์ประสาท

มนุษย์สามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าในรูปแบบต่าง ๆ ได้ เป็นผลจากการทำงานร่วมกันของระบบประสาทซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ **ระบบประสาทส่วนกลาง** (central nervous system; CNS) ที่ประกอบไปด้วย สมองและไขสันหลัง และ**ระบบประสาทรอบนอก** (peripheral nervous system; PNS) ที่ประกอบด้วย**เส้นประสาทสมอง** (cranial nerve) **เส้นประสาทไขสันหลัง** (spinal nerve) และปมประสาท **โครงสร้างของระบบประสาทมีอะไรบ้างและสามารถทำงานได้อย่างไร**

18.2.1 เนื้อเยื่อประสาท

ระบบประสาทของมนุษย์ประกอบด้วยเนื้อเยื่อประสาทที่กระจายอยู่ทั่วไปในร่างกายเป็นเครือข่ายที่เชื่อมถึงกัน โดยประกอบด้วยหน่วยทำงานที่เล็กที่สุดคือ **เซลล์ประสาท** (nerve cell) หรือ **นิวรอน** (neuron) จำนวนมาก ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับรู้ และส่งข้อมูลในลักษณะสัญญาณประสาทในรูปของ**สัญญาณเคมีไฟฟ้า** (electrochemical signal) หรือกระแสประสาท เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์อาจมีการเชื่อมโยงกับเซลล์ประสาทอื่น ๆ จำนวนมาก และมี**เซลล์เกลีย** (glia cell) ทำหน้าที่สนับสนุนและค้ำจุนเซลล์ประสาท รายละเอียดของเนื้อเยื่อประสาทมีดังนี้

- **เซลล์ประสาท** ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ **ตัวเซลล์** (cell body) และ**เส้นใยประสาท** (nerve fiber) ดังรูป 18.6 ภายในตัวเซลล์ประกอบด้วย นิวเคลียส ไซโทพลาซึม และออร์แกเนลล์ต่าง ๆ เช่น ไมโทคอนเดรีย เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม และกอลจิคอมเพล็กซ์จำนวนมาก บริเวณรอบตัวเซลล์มีเส้นใยประสาทซึ่งเป็นส่วนของเซลล์ที่ยื่นออกไป มีลักษณะเป็นแขนงเล็ก ๆ เส้นใยประสาทแบ่งได้ดังนี้
  - **เดนไดรต์** (dendrite) คือ เส้นใยประสาทที่รับกระแสประสาท โดยเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะมีเดนไดรต์แยกออกจากตัวเซลล์ 1 เส้นใยหรือหลายเส้นใยหรือบางชนิดอาจไม่มีเดนไดรต์
  - **แอกซอน** (axon) คือ เส้นใยประสาทที่ส่งกระแสประสาท โดยทั่วไปแอกซอนจะมีเพียง 1 เส้นใยเท่านั้น แอกซอนอาจสั้นหรือยาวได้ถึงกว่า 1 เมตร บริเวณตอนปลายของแอกซอนมีการแตกแขนง และที่ปลายสุดของแขนงที่แตกนั้นมีลักษณะโป่งออกคล้ายกระเปาะ

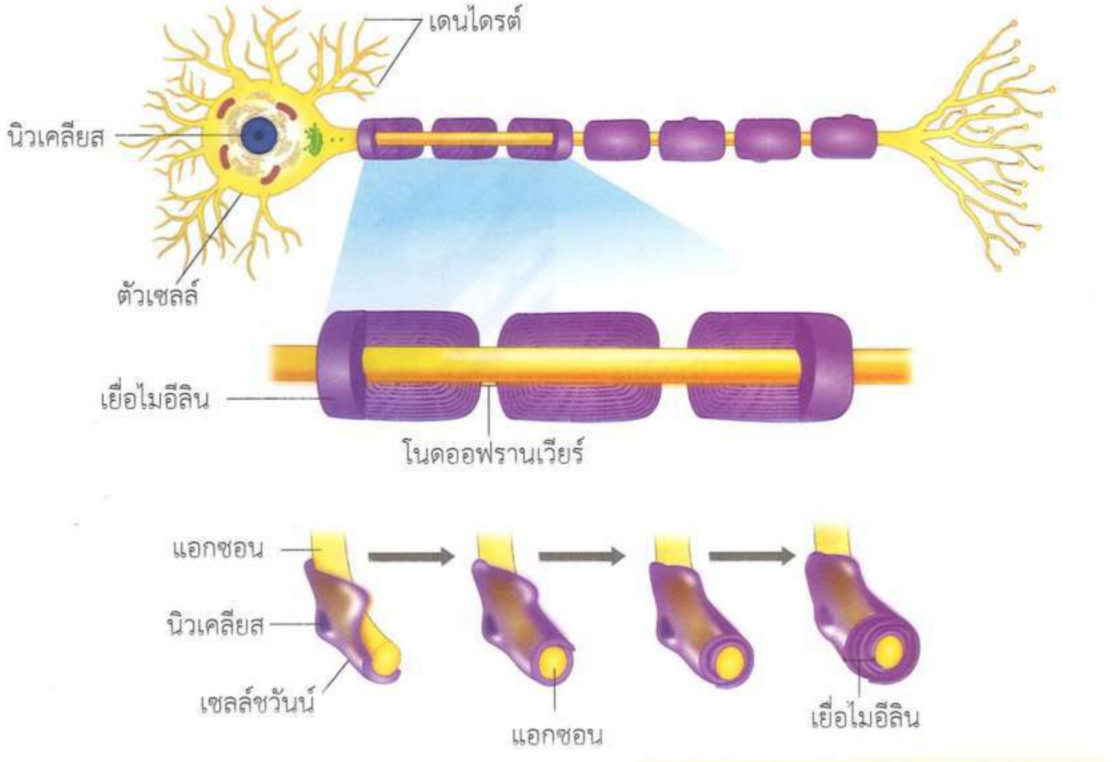


รูป 18.6 โครงสร้างเซลล์ประสาท
ก. รูปวาดเซลล์ประสาท ข. เซลล์ประสาทภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง

? เซลล์ประสาทมีโครงสร้างเหมือนหรือแตกต่างจากเซลล์อื่น ๆ ของร่างกายหรือไม่ อย่างไร

? ลักษณะของเซลล์ประสาทมีความสัมพันธ์กับการทำงานหรือไม่ อย่างไร

กรณีแอกซอนบางเส้นที่มีความยาวมาก ๆ มักจะพบ**เยื่อไมอีลิน** (myelin sheath) มาหุ้มตลอดความยาวของแอกซอน เยื่อไมอีลินมีสารกลุ่มลิพิดเป็นองค์ประกอบ เมื่อศึกษาภาคตัดขวางของเยื่อไมอีลินพบว่าเยื่อไมอีลินเกิดจาก**เซลล์ชวันน์** (Schwann cell) ซึ่งเป็นเซลล์เกลียชนิดหนึ่งพันรอบแอกซอนหลายรอบทำให้เกิดเป็นชั้นจำนวนมาก ส่วนของแอกซอนตรงบริเวณรอยต่อระหว่างเซลล์ชวันน์แต่ละเซลล์เป็นบริเวณที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้มเรียกว่า **โนดออฟรานเวียร์** (node of Ranvier) ดังรูป 18.7 การที่แอกซอนมีเยื่อไมอีลินหุ้มจะช่วยให้นำกระแสประสาทได้เร็วกว่าแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

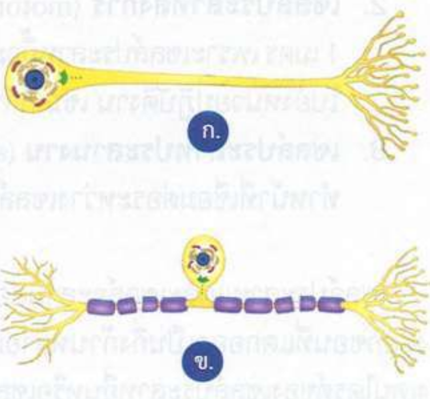


รูป 18.7 เซลล์ประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

- **เซลล์เกลีย** เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ค้ำจุน ลำเลียงของเสียออกจากเซลล์ประสาท รักษาดุลยภาพของสารต่าง ๆ ของเซลล์ประสาท เซลล์เกลียมีจำนวนมากกว่าเซลล์ประสาทถึง 50 เท่า และมีหลายชนิดพบได้ทั้งในระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทรอบนอก เซลล์เกลียแต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกัน เช่น เซลล์ชวันน์ที่ระบบประสาทรอบนอกมีหน้าที่สร้างเยื่อไมอีลินซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าล้อมรอบแอกซอน ส่วน**เซลล์โอลิโกเดนโดรไซต์** (oligodendrocyte) ที่ระบบประสาทส่วนกลางมีหน้าที่เช่นเดียวกับเซลล์ชวันน์

จากการศึกษาโครงสร้างของเซลล์ประสาทพบว่ามีรูปร่างและเส้นใยประสาทแตกต่างกันไปตามชนิดและหน้าที่ของเซลล์ ถ้าใช้จำนวนเส้นใยประสาทต่อ 1 เซลล์ประสาทเป็นหลัก อาจแบ่งเซลล์ประสาทได้เป็น 3 ชนิด ดังรูป 18.8-18.10

1. เซลล์ประสาทขั้วเดียว (unipolar neuron) มีเส้นใยประสาทแยกออกมาจากตัวเซลล์เพียง 1 เส้นใย คือ แอกซอน พบในเซลล์ประสาทที่หลั่งฮอร์โมนของสัตว์ต่าง ๆ เซลล์ประสาทในกลุ่มนี้ยังมี**เซลล์ประสาทขั้วเดียวเทียม** (pseudounipolar neuron) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีแอกซอนออกจากตัวเซลล์เส้นใยเดียวแล้วแตกออกเป็น 2 เส้น โดยเส้นใยหนึ่งตรงปลายแตกแขนงเป็นเดนไดรต์ไปรับสัญญาณจากหน่วยรับความรู้สึกที่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายแล้วส่งผ่านข้อมูลให้กับเซลล์ประสาทอีกเซลล์ในไขสันหลัง พบที่ปมประสาทรากบนในไขสันหลัง



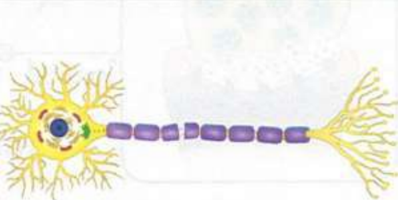
รูป 18.8 ก. เซลล์ประสาทขั้วเดียว
ข. เซลล์ประสาทขั้วเดียวเทียม

2. เซลล์ประสาทสองขั้ว (bipolar neuron) มีเส้นใยประสาทแยกออกจากตัวเซลล์ 2 เส้นใย เป็นแอกซอน 1 เส้น และอีกเส้นเป็นเดนไดรต์ พบที่อวัยวะรับความรู้สึกบางแห่ง เช่น เซลล์ประสาทที่บริเวณเรตินา เซลล์ประสาทรับกลิ่นในช่องจมูก เซลล์ประสาทรับความรู้สึกที่หูส่วนใน



รูป 18.9 เซลล์ประสาทสองขั้ว

3. เซลล์ประสาทหลายขั้ว (multipolar neuron) มีเดนไดรต์แยกออกมาจากตัวเซลล์จำนวนมากและมีแอกซอน 1 เส้นใย เซลล์ประสาทส่วนใหญ่เป็นเซลล์ประสาทหลายขั้ว เช่น เซลล์ประสาทประสานงาน และเซลล์ประสาทสั่งการ

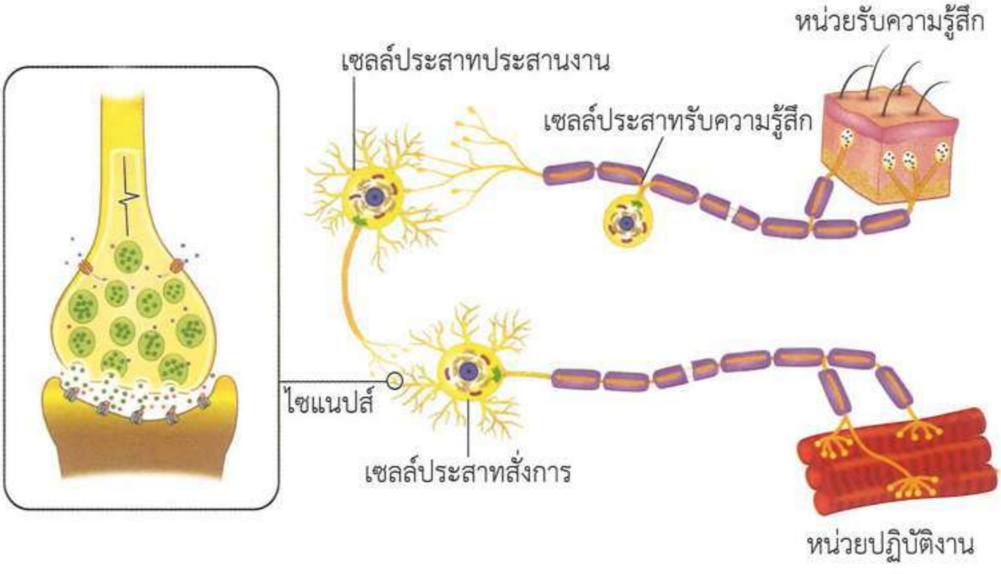


รูป 18.10 เซลล์ประสาทหลายขั้ว

นอกจากนี้ยังจำแนกเซลล์ประสาทตามหน้าที่ออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. **เซลล์ประสาทรับความรู้สึก** (sensory neuron) ทำหน้าที่รับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกแล้วถ่ายทอดต่อไปยังเซลล์ประสาทอื่น
2. **เซลล์ประสาทสั่งการ** (motor neuron) บางเซลล์อาจมีแอกซอนที่ยาวซึ่งอาจยาวกว่า 1 เมตร เพราะเซลล์ประสาทนี้จะอยู่ที่ไขสันหลังซึ่งต้องนำกระแสประสาทออกจากไขสันหลังไปยังหน่วยปฏิบัติงาน เช่น กล้ามเนื้อแขน ขา ซึ่งอยู่ห่างจากไขสันหลังมาก
3. **เซลล์ประสาทประสานงาน** (association neuron) ส่วนใหญ่พบในสมองและไขสันหลัง ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึกกับเซลล์ประสาทสั่งการ

เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะสานต่อกันเป็นร่างแหเพื่อถ่ายทอดกระแสประสาทโดยส่วนปลายของแอกซอนที่แตกออกเป็นกิ่งก้านหลายเส้นใยประสาท แล้วไปอยู่ชิดกับตัวเซลล์ประสาทหรือส่วนของเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทอื่นหรือเซลล์กล้ามเนื้อที่เป็นหน่วยปฏิบัติงาน ดังรูป 18.11 โดยบริเวณที่อยู่ชิดกันนั้นเรียกว่า **ไซแนปส์** (synapse) ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป



รูป 18.11 ไซแนปส์ระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึก เซลล์ประสาทประสานงานและเซลล์ประสาทสั่งการ

การที่เซลล์ประสาทสานต่อกันเป็นร่างแหทำให้สามารถถ่ายทอดกระแสประสาทไปเซลล์ประสาทอื่น ๆ ได้ **กระแสประสาทเกิดขึ้นได้อย่างไร และสามารถถ่ายทอดไปยังเซลล์ประสาทหรือเซลล์อื่น ๆ ได้อย่างไร**

18.2.2 การทำงานของเซลล์ประสาท

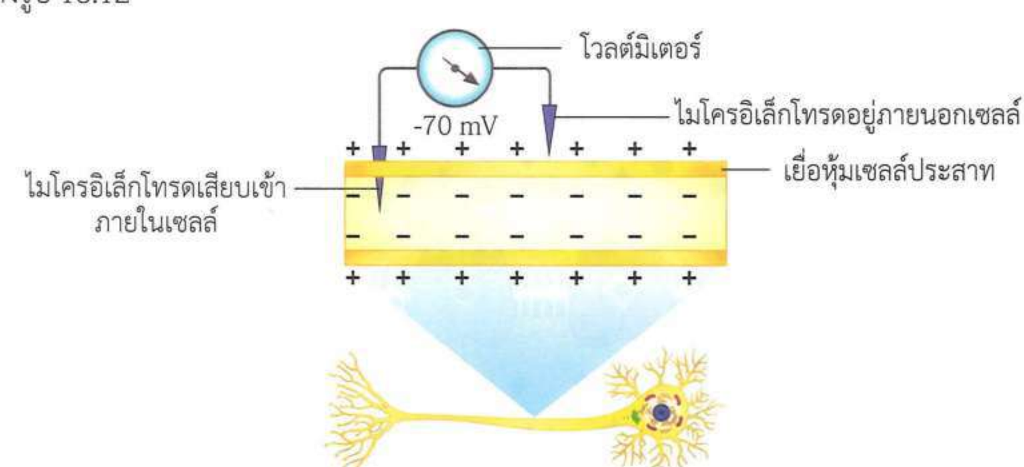
เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์สามารถรับและส่งข้อมูลถึงกันได้เพราะมีกระแสประสาท มีการนำกระแสประสาท และการถ่ายทอดกระแสประสาท โดยกระแสประสาทนี้เป็นสัญญาณเคมีไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาท เมื่อมีการกระตุ้นเซลล์ประสาทจะทำให้เกิดเป็นกระแสประสาทขึ้น

การเกิดกระแสประสาท

นักสรีรวิทยา อลัน ลอยด์ ฮอดจ์กิน (Alan Lloyd Hodgkin) และ แอนดรู ฟิลดิง ฮักซ์ลีย์ (Andrew Fielding Huxley) ได้ทดลองว่ากระแสประสาทเกิดขึ้นได้อย่างไรในแอกซอนของหมึก โดยการนำ**ไมโครอิเล็กโทรด** (microelectrode) ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดแก้วที่ดึงให้ยาว ตรงปลายเรียวเป็นท่อขนาดเล็กมาต่อกับ**โวลต์มิเตอร์** (voltmeter) เพื่อให้แสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ จากนั้นเสียบปลายของไมโครอิเล็กโทรดเข้าไปในแอกซอนของหมึกและให้ปลายอีกข้างหนึ่งอยู่ด้านนอกของแอกซอนของหมึกดังรูป 18.12

รู้หรือไม่

ความต่างศักย์ไฟฟ้า คือ ผลต่างของศักย์ไฟฟ้า ณ สองตำแหน่งใด ๆ

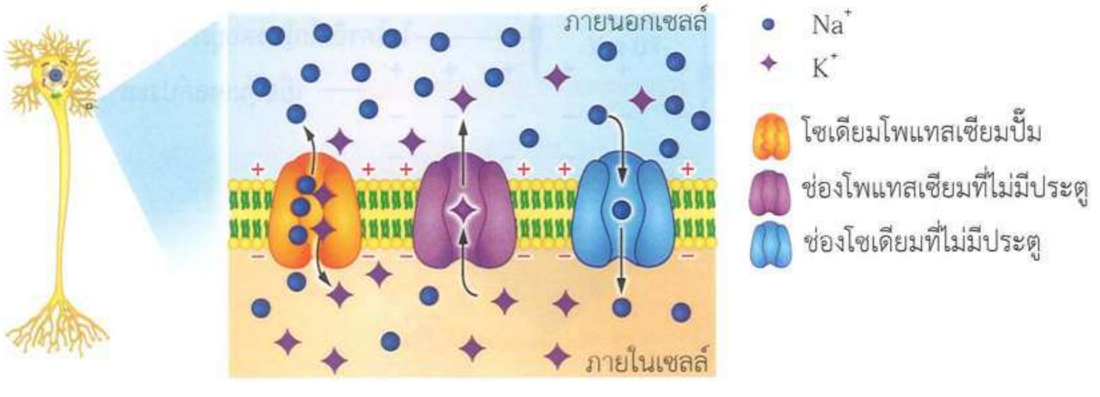


รูป 18.12 การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายนอกและภายในเซลล์ประสาทของหมึก

เยื่อหุ้มเซลล์ประสาทเป็นฟอสโฟลิพิดจัดเรียงตัวเป็น 2 ชั้น จึงมีสมบัติป้องกันไม่ให้ไอออนผ่านเข้าออกได้อย่างอิสระ แต่เนื่องจากที่เยื่อหุ้มเซลล์มีโปรตีนแทรกอยู่ทั่วไปทำให้เกิดเป็นช่องที่ไอออนบางชนิดแพร่ผ่านเข้าหรือออกได้บ้างตามความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนเหล่านั้น เช่น ช่องโซเดียม ช่องโพแทสเซียม ซึ่งมีทั้งแบบที่**ไม่มีประตู** (ungated channel) และ**มีประตู** (gated channel)

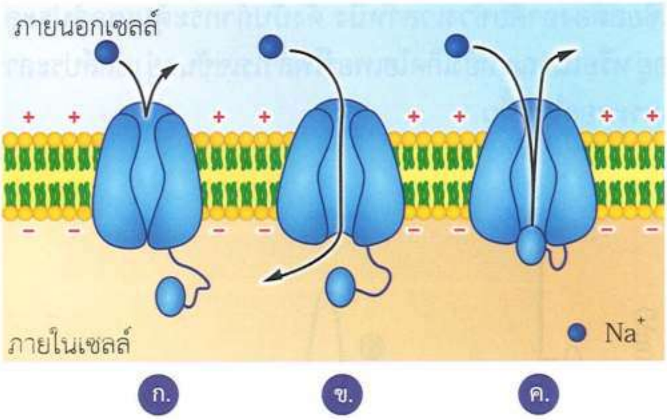
ในภาวะปกติที่เซลล์ประสาทยังไม่ถูกสิ่งเร้ากระตุ้น สารละลายภายนอกเซลล์และภายในเซลล์ประสาทจะมีไอออนต่างกัน โดยภายนอกเซลล์มีโซเดียมไอออน (Na^+) สูงกว่าภายในเซลล์ (ประมาณ 10 เท่า) ขณะเดียวกันภายในเซลล์จะมีโพแทสเซียมไอออน (K^+) สูงกว่าภายนอกเซลล์ (ประมาณ 30 เท่า) ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเยื่อเซลล์ด้านในและด้านนอกมีค่าประมาณ -70 มิลลิโวลต์ ซึ่งเป็น**ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ระยะพัก** (resting membrane potential) เรียกว่าเกิด**ภาวะมีขั้ว** (polarization) เซลล์จะรักษาความเข้มข้นของไอออนที่ต่างกันนี้ตลอดเวลา โดยการทำงานของ**โซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม** (sodium potassium pump; Na^+-K^+ pump) ซึ่งต้องใช้พลังงานจากการสลาย ATP ทำให้ Na^+ ถูกส่งออกไปนอกเซลล์ และ K^+ จะถูกดึงเข้ามาสะสมอยู่ภายในเซลล์ในอัตราส่วน $3Na^+ : 2K^+$ โดยที่โซเดียมโพแทสเซียมปั๊มต้องทำงานตลอดเวลา เนื่องจากยังมีการแพร่ของ Na^+ และ K^+ ผ่านทางช่องไอออนที่ไม่มีประตูตามความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออน ดังรูป 18.13 ในระยะพักนี้ช่องไอออนที่มีประตูจะปิด

แม้ว่า K^+ จะเข้ามาสะสมอยู่ภายในเซลล์เป็นจำนวนมากก็ตาม แต่เนื่องจากภายในเซลล์ยังมีสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เป็นจำนวนมาก เช่น โปรตีน กรดนิวคลิอิก ซึ่งไม่สามารถผ่านออกไปนอกเซลล์ได้ และสารเหล่านี้มีประจุลบจึงทำให้ภายในเซลล์มีผลรวมของประจุเป็นลบเมื่อเทียบกับภายนอกเซลล์



รูป 18.13 โซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม ช่องโพแทสเซียมที่ไม่มีประตู และช่องโซเดียมที่ไม่มีประตู

ถ้ามีสิ่งเร้ามากระตุ้นจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์เปลี่ยนไปเนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ยังประกอบด้วยช่องไอออนที่มีประตู ซึ่งช่องไอออนนี้สามารถปิดหรือเปิดได้ ทำให้สมบัติการยอมให้ไอออนผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนไป และทำให้เกิดกระแสประสาทของเซลล์ประสาทขึ้น โดยช่องไอออนที่มีประตูพบที่บริเวณแอกซอนของเซลล์ประสาทส่วนใหญ่จะเป็นช่องที่ต้องใช้สัญญาณไฟฟ้าในการปิดหรือเปิดประตู (voltage-gated ion channel) ซึ่งในระยะพัก**ช่องโซเดียมที่มีประตู** (voltage-gated Na^+ channel) และ**ช่องโพแทสเซียมที่มีประตู** (voltage-gated K^+ channel) จะปิด ทั้งนี้ช่องโซเดียมที่มีประตูจะมี 3 สถานะ ดังรูป 18.14 ขณะที่ช่องโพแทสเซียมที่มีประตูมี 2 สถานะ คือ ปิด และเปิด



รูป 18.14 ลำดับการเปลี่ยนสถานะของช่องโซเดียมที่มีประตู

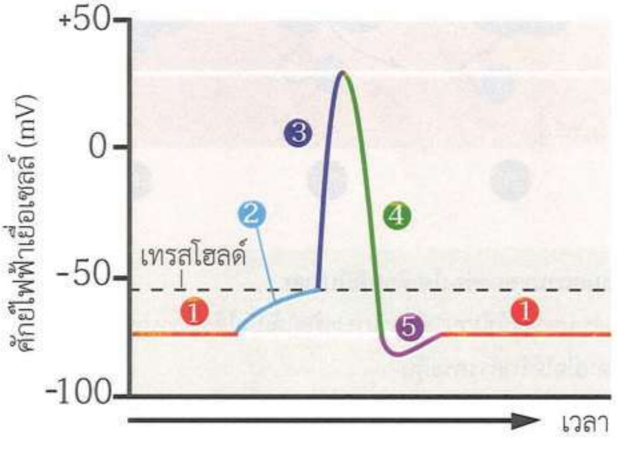
ก. สถานะ "ปิดแบบพร้อมใช้งาน" ซึ่งสามารถเปิดได้เมื่อได้รับการกระตุ้น พบในระยะพัก

ข. สถานะ "เปิด"เมื่อได้รับการกระตุ้น

ค. สถานะ "ปิดแบบไม่พร้อมใช้งาน (inactivation)" ซึ่งไม่สามารถเปิดได้แม้ได้รับการกระตุ้น แต่จะปรับเป็นสถานะ "ปิดแบบพร้อมใช้งาน" (ก) เมื่อศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ต่ำลงกว่าปกติ

เมื่อมีสิ่งเร้า เช่น เสียง ความร้อน หรือสารเคมีมากระตุ้นเซลล์ประสาท การกระตุ้นนี้ทำให้ไอออนบางชนิดผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ระหว่างภายในและภายนอกเซลล์เปลี่ยนไป โดยถ้าความต่างศักย์บริเวณแอกซอนเปลี่ยนถึงจุดหนึ่งหรือ**เทรสโฮลด์** (threshold) สมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์จะเปลี่ยนแปลงชั่วคราวคือ ช่องโซเดียมที่มีประตูเปิด ยอมให้โซเดียมไอออนผ่านเข้าทางช่องโซเดียมที่มีประตูนี้ได้ ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ด้านในบริเวณที่โซเดียมไอออนผ่านเข้าเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นประจุบวกมากขึ้นเมื่อเทียบกับภายนอกเซลล์ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์เปลี่ยนจาก -70 มิลลิโวลต์เป็นประมาณ +30 มิลลิโวลต์ เรียกว่า **ดีโพลาไรเซชัน** (depolarization) โดยการเปลี่ยนแปลงขั้นนี้จะเกิดอย่างรวดเร็ว

เมื่อเกิดดีโพลาไรเซชันแล้วทำให้ช่องโซเดียมที่มีประตูเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะปิดแบบไม่พร้อมใช้งาน ดังรูป 18.14 ค. ในขณะเดียวกันช่องโพแทสเซียมที่มีประตูจะเปิดยอมให้ K^+ ผ่านออกไปนอกเซลล์ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์จาก +30 มิลลิโวลต์ลดลงและกลายเป็นค่าลบในสภาพเดิมเรียกว่า **รีโพลาไรเซชัน** (repolarization) และค่าความต่างศักย์นี้จะลดต่ำลงกว่าภาวะปกติเรียกว่า **ไฮเพอร์โพลาไรเซชัน** (hyperpolarization) ก่อนที่ช่องโพแทสเซียมที่มีประตูจะปิด จากนั้นศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์กลับเข้าสู่ระยะพัก เรียกภาวะที่ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์เปลี่ยนไปนี้ว่า **แอกชันโพเทนเชียล** (action potential) ซึ่งสรุปได้ดังรูป 18.15–18.16 การเกิดแอกชันโพเทนเชียลจะเกิดขึ้นต่อเมื่อดีโพลาไรเซชันถึงระดับเทรสโฮลด์เท่านั้นและถ้าไม่ถึงเทรสโฮลด์ก็จะไม่เกิดแอกชันโพเทนเชียล การเกิดแอกชันโพเทนเชียลต้องอาศัยช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้นถ้ากระตุ้นเซลล์ประสาทในขณะที่ยังเกิดแอกชันโพเทนเชียลอยู่ หรือในขณะที่ยังเกิดไฮเพอร์โพลาไรเซชันอยู่ เซลล์ประสาทจะไม่ตอบสนองจึงไม่เกิดกระแสประสาทระลอกใหม่ขึ้น

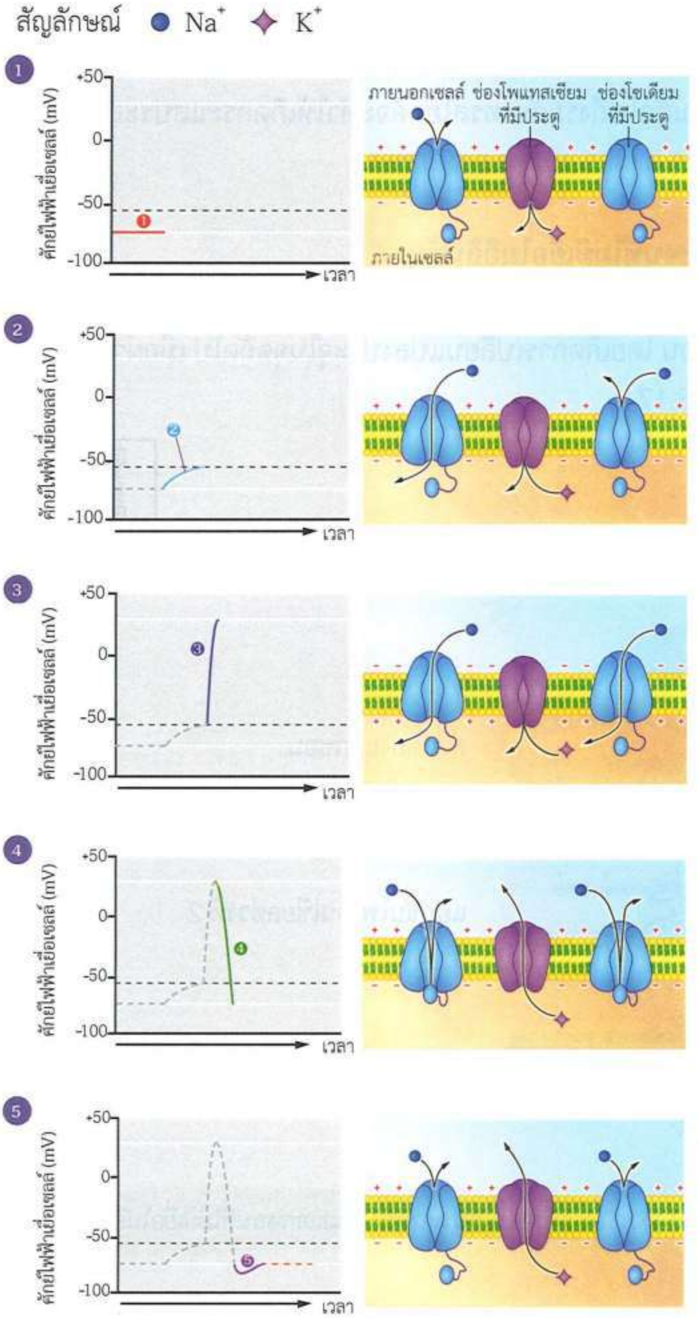


ipst.me/10792

รูป 18.15 กราฟแสดงการเกิดแอกชันโพเทนเชียล

ชวนคิด

? ถ้าไม่มี ATP เซลล์ประสาทจะรักษาศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ระยะพักได้หรือไม่ เพราะเหตุใด



รูป 18.16 การเกิดแอกชันโพเทนเชียล (แสดงเฉพาะช่องโซเดียมที่มีประตูและช่องโพแทสเซียมที่มีประตู)

1. ระยะพัก ช่องโซเดียมที่มีประตูปิดแบบพร้อมใช้งานและช่องโพแทสเซียมที่มีประตูปิด แต่เซลล์ยังรักษาศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลลระยะพักไว้ได้เพราะการทำงานของโซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม

2. ระยะดีโพลาไรเซชัน (ช่วงแรก) เมื่อมีการกระตุ้นจะทำให้ช่องโซเดียมที่มีประตูบางส่วนเริ่มเปิด โซเดียมไอออนเริ่มเข้าสู่ภายในเซลล์ และถ้ากระตุ้นถึงระดับเทรสโฮลด์จะทำให้เกิดแอกชันโพเทนเชียลขึ้น ส่วนช่องโพแทสเซียมที่มีประตูยังปิดอยู่

3. ระยะดีโพลาไรเซชัน (ช่วงหลัง) การเกิดดีโพลาไรเซชันทำให้ช่องโซเดียมที่มีประตูเปิดเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ช่องโพแทสเซียมที่มีประตูยังปิดอยู่ ทำให้โซเดียมไอออนเข้าสู่เซลล์เป็นจำนวนมาก ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ด้านในมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับด้านนอก

4. ระยะรีโพลาไรเซชัน ช่องโซเดียมที่มีประตูส่วนใหญ่ปิดแบบไม่พร้อมใช้งานโซเดียมไอออนไม่สามารถเข้าสู่เซลล์ได้อีก ส่วนช่องโพแทสเซียมที่มีประตูเริ่มเปิด โพแทสเซียมไอออนผ่านออกไปนอกเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์มีค่าเป็นลบอีกครั้ง

5. ระยะไฮเพอร์โพลาไรเซชัน ช่องโซเดียมที่มีประตูเปลี่ยนจากสถานะ "ปิดแบบไม่พร้อมใช้งาน" เป็นแบบ "ปิดแบบพร้อมใช้งาน" โซเดียมไอออนยังคงไม่สามารถผ่านเข้าเซลล์ได้ ขณะที่ช่องโพแทสเซียมที่มีประตูยังคงเปิดอยู่ ทำให้โพแทสเซียมไอออนผ่านออกนอกเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์มีค่าเป็นลบมากกว่าในระยะพักและเมื่อช่องโพแทสเซียมที่มีประตูปิด ค่าศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์จะกลับเข้าสู่ระยะพัก (1)

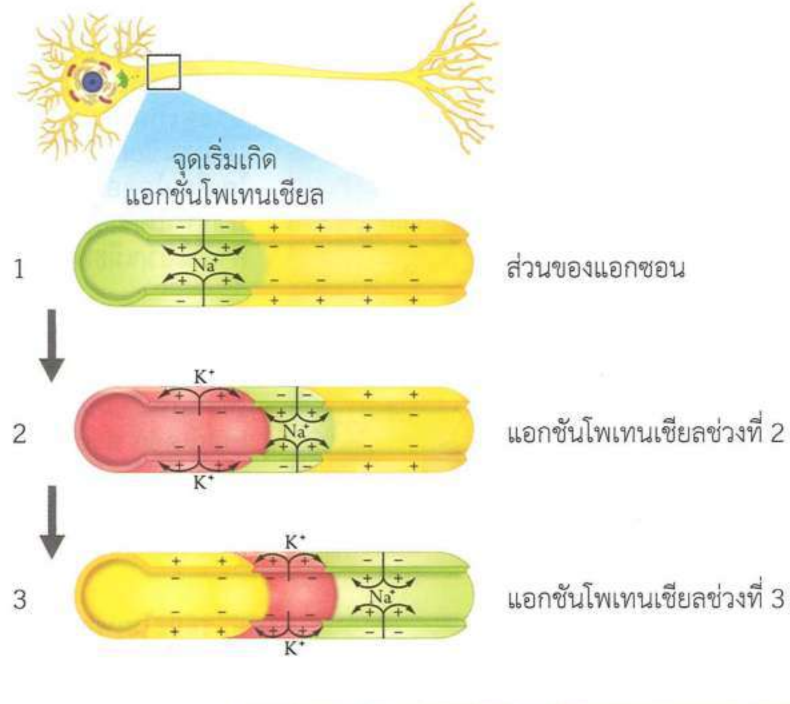
การนำกระแสประสาท

เมื่อการกระตุ้นจากสิ่งเร้าทำให้เกิดกระแสประสาทขึ้นจะเกิดการนำไฟฟ้าขึ้นในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งถ้าให้การเกิดดีโพลาไรเซชันที่บริเวณถัดไปถึงระดับเทรสโฮลด์จะทำให้เกิดกระแสประสาทขึ้นที่บริเวณใหม่ได้ และจะเกิดเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ตามความยาวของแอกซอน

การนำกระแสประสาทในแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

เซลล์ประสาทที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม การนำกระแสประสาทจะเกิดขึ้นต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จากจุดที่ถูกกระตุ้นไปตลอดจนถึงปลายแอกซอน โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงประจุในจุดถัดไป เมื่อผ่านไปแล้วจุดนั้นก็จะกลับคืนสู่ภาวะปกติ ดังรูป 18.17

ipst.me/10793



รูป 18.17 การนำกระแสประสาทไปตามแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

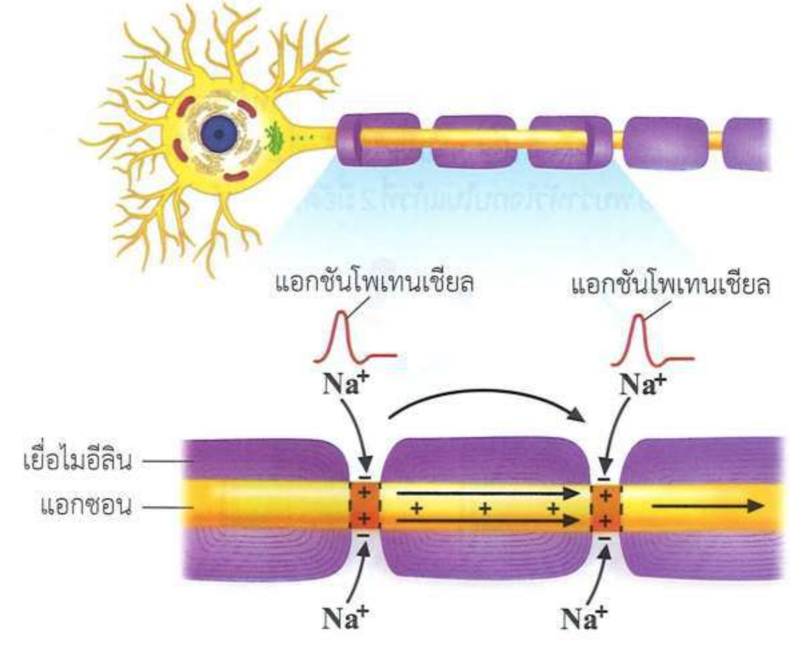
ตรวจสอบความเข้าใจ

? เพราะเหตุใดการนำกระแสประสาทจึงเกิดขึ้นได้เพียงทิศทางเดียว

สำหรับความเร็วของการนำกระแสประสาทในแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้มขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยประสาท ถ้าเส้นใยประสาทมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จะนำกระแสประสาทได้เร็วกว่าขนาดเล็กเพราะความต้านทานการเคลื่อนที่ของไอออนจะแปรผกผันกับพื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นใยประสาท

การนำกระแสประสาทในแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

แอกซอนของเซลล์ประสาทบางเซลล์มีเยื่อไมอีลินหุ้มซึ่งมีสมบัติเป็นฉนวนกั้นประจุไฟฟ้าไม่ให้ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นบริเวณนี้จะไม่มีแอกชันโพเทนเชียลเกิดขึ้น การเกิดแอกชันโพเทนเชียลจะเกิดเฉพาะที่โนดออฟรานเวียร์ซึ่งเป็นบริเวณที่มีช่องโซเดียมที่มีประตูและช่องโพแทสเซียมที่มีประตูจำนวนมาก โดยดีโพลาไรเซชันเกิดจากการเคลื่อนที่เข้าของโซเดียมไอออนบริเวณโนดออฟรานเวียร์แผ่ไปยังบริเวณถัดไป การนำกระแสประสาทแบบนี้เปรียบเสมือนกระโดดจากโนดออฟรานเวียร์หนึ่งไปยังอีกโนดออฟรานเวียร์หนึ่ง ดังรูป 18.18 ทำให้การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทไปยังปลายแอกซอนเกิดเร็วกว่าในกรณีที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม นอกจากนี้พบว่าแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้มที่มีระยะห่างระหว่างโนดออฟรานเวียร์มากกว่าจะมีการนำกระแสประสาทได้เร็วกว่า



รูป 18.18 การนำกระแสประสาทไปตามแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

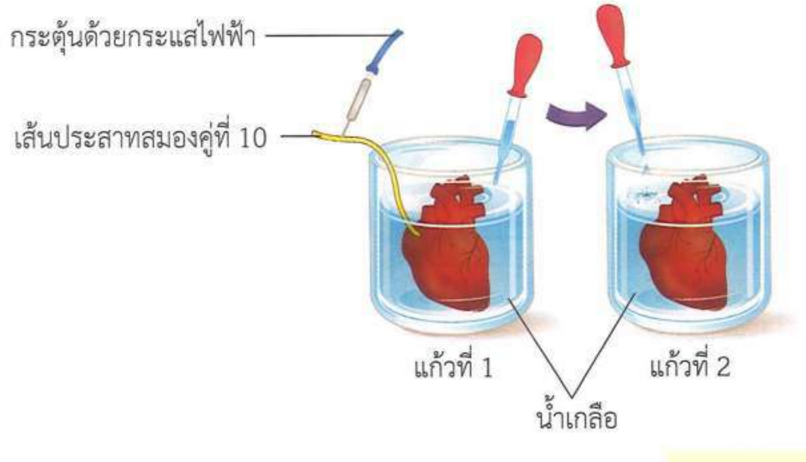
เมื่อมีการนำกระแสประสาทไปถึงปลายแอกซอนแล้วจะเกิดการถ่ายทอดกระแสประสาทไปยังเซลล์อื่น ๆ ได้อย่างไร

ipst.me/10794

การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาทหรือเซลล์อื่น ๆ

เมื่อมือสัมผัสกับวัตถุที่ร้อนร่างกายจะดึงมือกลับในทันที การตอบสนองดังกล่าวเกิดจากเซลล์ประสาทรับความรู้สึกเกี่ยวกับความร้อนที่ผิวหนังถูกกระตุ้นและมีการถ่ายทอดกระแสประสาทเป็นทอด ๆ ต่อกันในรูปของสัญญาณเคมีไฟฟ้าไปยังเซลล์ประสาทประสานงานบริเวณไขสันหลังและถ่ายทอดกระแสประสาทผ่านไขสันหลังไปที่เซลล์ประสาทสั่งการและไปที่เซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างบริเวณมือทำให้เกิดการดึงมือกลับในทันที ในขณะเดียวกันจะมีกระแสประสาทส่งไปยังสมองแปลผลเป็นความรู้สึกร้อน การถ่ายทอดกระแสประสาทในเหตุการณ์ข้างต้นเกิดที่บริเวณไซแนปส์ระหว่าง**เซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์** (presynaptic neuron) กับ**เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์** (postsynaptic neuron) หรือเซลล์ถัดไป โดยระหว่าง 2 เซลล์นี้จะมี**ช่องไซแนปส์** (synaptic cleft) ซึ่งมีขนาด 0.02 ไมโครเมตร (รูป 18.20) ทำให้กระแสประสาทไม่สามารถผ่านช่องนี้ไปได้ ดังนั้นร่างกายจึงต้องมีกลไกในการถ่ายทอดกระแสประสาทให้ผ่านช่องดังกล่าวนั่นคือ การไซแนปส์ ซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่

1. **ไซแนปส์เคมี** (chemical synapse) พบได้ในสัตว์มีกระดูกสันหลังเป็นส่วนใหญ่ นักวิทยาศาสตร์ชื่อ ออทโต ลอวิ (Otto Loewi) ได้ทำการทดลองนำหัวใจกบที่ยังมีชีวิตและยังมีเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ติดอยู่มาใส่ในแก้วที่มีน้ำเกลือแล้วกระตุ้นเส้นประสาทดังกล่าวด้วยกระแสไฟฟ้า พบว่าหัวใจกบเต้นช้าลง เมื่อดูดสารละลายจากแก้วที่ 1 มาใส่ลงในแก้วที่ 2 ซึ่งมีหัวใจกบที่ตัดเอาเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ออกไป ดังรูป 18.19 พบว่าหัวใจกบในแก้วที่ 2 มีอัตราการเต้นของหัวใจช้าลงเช่นเดียวกัน

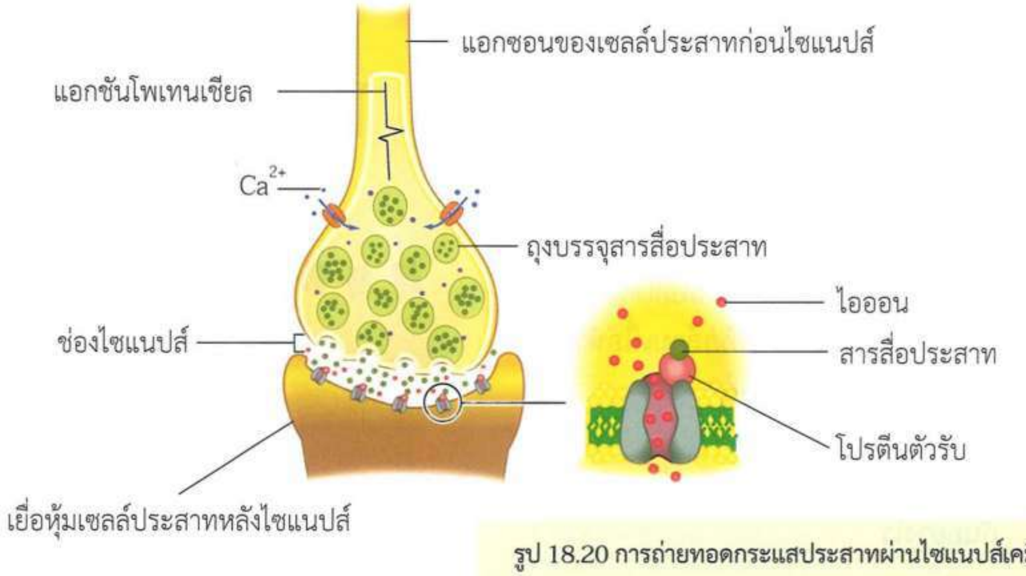


รูป 18.19 การทดลองของออทโต ลอวิ

การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ทำให้เกิดการหลั่งสารบางชนิดออกมายับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจเช่นเดียวกันกับการกระตุ้นเส้นใยประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อนั้น สารที่หลั่งออกจากปลายเส้นใยประสาทเรียกว่า **สารสื่อประสาท** (neurotransmitter)

การศึกษาต่อมาพบว่าบริเวณปลายของแอกซอนมีสารสื่อประสาทที่บรรจุอยู่ในถุงปริมาณสูงมาก ทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายทอดกระแสประสาทจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง สารสื่อประสาทมีหลายชนิด เช่น **อะเซทิลโคลีน** (acetylcholine) **นอร์เอพิเนฟริน** (norepinephrine) **เอนดอร์ฟิน** (endorphin) ซึ่งจากการทดลองของออทโต ลอวิ สารที่หลั่งจากเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 คือ อะเซทิลโคลีน

เมื่อเซลล์ประสาทเกิดแอกชันโพเทนเชียลมาจนถึงบริเวณปลายแอกซอนของเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ แอกชันโพเทนเชียลจะชักนำให้เยื่อหุ้มเซลล์ปลายแอกซอนเกิดดีโพลาไรเซชัน ส่งผลให้แคลเซียมไอออนถูกนำเข้าสู่เซลล์ แคลเซียมไอออนจะไปกระตุ้นให้ถุงที่บรรจุสารสื่อประสาทเคลื่อนไปรวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ตรงบริเวณไซแนปส์และมีผลต่อเนื่องทำให้ปล่อยสารสื่อประสาทเข้าสู่ช่องไซแนปส์ สารสื่อประสาทจะไปจับกับโปรตีนตัวรับที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ ดังรูป 18.20 ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ทำให้เกิดดีโพลาไรเซชันหรือไฮเพอร์โพลาไรเซชัน ขึ้นกับชนิดของไอออนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่เซลล์ และทำให้เกิดการกระตุ้นหรือยับยั้งการส่งกระแสประสาทต่อไป



รูป 18.20 การถ่ายทอดกระแสประสาทผ่านไซแนปส์เคมี

สารสื่อประสาทที่เหลืออยู่ในช่องไซแนปส์จะถูกสลายโดยเอนไซม์ หรือลำเลียงกลับเข้าสู่เซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเดนไดรต์จึงถูกกระตุ้นเฉพาะเวลาที่แอกซอนปล่อยสารสื่อประสาทออกมาในช่วงสั้น ๆ เท่านั้น

? การที่สารสื่อประสาทพบเฉพาะที่ปลายแอกซอนเท่านั้น แต่ไม่พบที่ปลายเดนไดรต์ ลักษณะดังกล่าวจะมีผลต่อทิศทางการถ่ายทอดกระแสประสาทอย่างไร

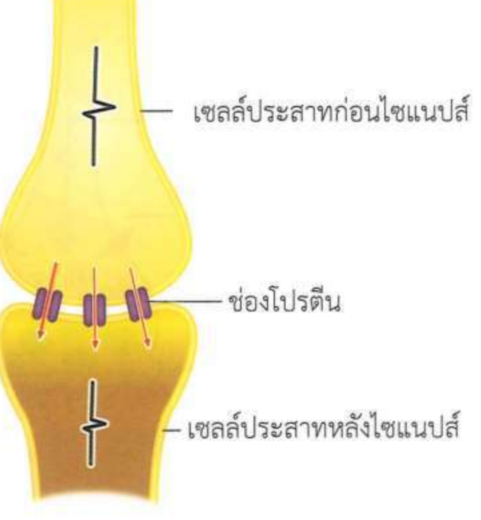
? ถ้าสารสื่อประสาทไม่มีการสลายตัวและไม่มีการลำเลียงกลับเข้าสู่เซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์จะเกิดอะไรขึ้นกับร่างกาย

รู้หรือไม่

Botulinum toxin เป็นสารพิษที่ผลิตจากแบคทีเรีย *Clostridium botulinum* แบคทีเรียชนิดนี้เจริญได้ในที่ไม่มีออกซิเจน เช่น หน่อไม้ในภาชนะที่ปิดสนิทและมีสปอร์ *C. botulinum* ปนเปื้อน เมื่อแบคทีเรียเจริญจะสร้างสารพิษซึ่งไปยับยั้งหรือลดการหลั่งของอะเซทิลโคลีน ทำให้ไม่สามารถเกิดกระแสประสาทไปยังเซลล์อื่น ๆ ได้ หากได้รับสารพิษเข้าไปจะทำให้เกิดโรคโบทูลิซึม (Botulism) มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน กล้ามเนื้ออ่อนแรงหรือเป็นอัมพาตชั่วคราว ซึ่งหากเกิดกับกล้ามเนื้อทางเดินหายใจก็อาจทำให้เสียชีวิตได้

2. ไซแนปส์ไฟฟ้า (electrical synapse) เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์และเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ที่อยู่ชิดกันจนเสมือนเป็นเยื่อหุ้มเซลล์เดียวกันซึ่งเกิดจากการเชื่อมติดกันของโปรตีนรวมกันเป็นช่อง ดังรูป 18.21 ทำให้แอกชันโพเทนเชียลจากเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์สามารถผ่านช่องโปรตีนเข้าสู่เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ได้โดยตรง ไซแนปส์ไฟฟ้าสามารถพบได้ที่กล้ามเนื้อหัวใจหรือบางบริเวณของสมองมนุษย์

? ไซแนปส์เคมีและไซแนปส์ไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างไร



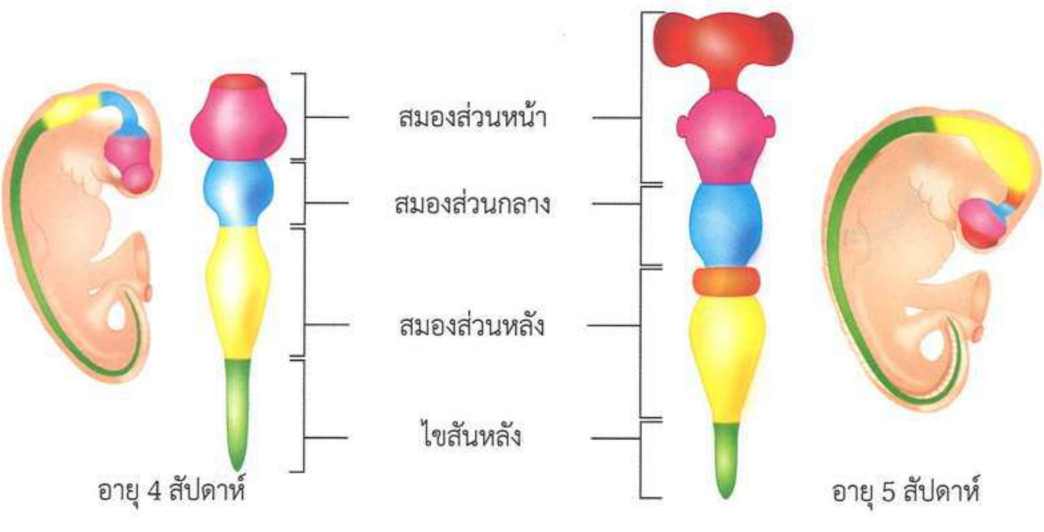
รูป 18.21 ไซแนปส์ไฟฟ้า

18.3 ศูนย์ควบคุมระบบประสาทของมนุษย์

ระบบประสาทของสัตว์มีกระดูกสันหลัง เช่น มนุษย์ เซลล์ประสาทส่วนใหญ่พบในระบบประสาทส่วนกลางทำหน้าที่ในการรับและประมวลผลข้อมูลที่ได้มาจากเซลล์ประสาทรับความรู้สึกที่อยู่บริเวณอวัยวะรับความรู้สึก แล้วส่งข้อมูลออกไปโดยผ่านเซลล์ประสาทสั่งการจนไปถึงหน่วยปฏิบัติงานเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยแอกซอนของเซลล์ประสาทรับความรู้สึกและเซลล์ประสาทสั่งการเหล่านี้อยู่ในระบบประสาทรอบนอก

เมื่ออ่านโน้ตเพลงแล้วนิ้วมือกดคีย์บอร์ดเปียโนตามโน้ตได้ทันที การตอบสนองที่เกิดขึ้นนี้แม้จะเห็นว่าเกิดแค่เพียงระยะเวลาสั้น ๆ แต่มีเซลล์ประสาทและเซลล์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องหลายชนิด โดยมีศูนย์ควบคุมระบบประสาทอยู่ที่สมองและไขสันหลัง **สมองและไขสันหลังมีโครงสร้างและควบคุมการตอบสนองของร่างกายได้อย่างไร**

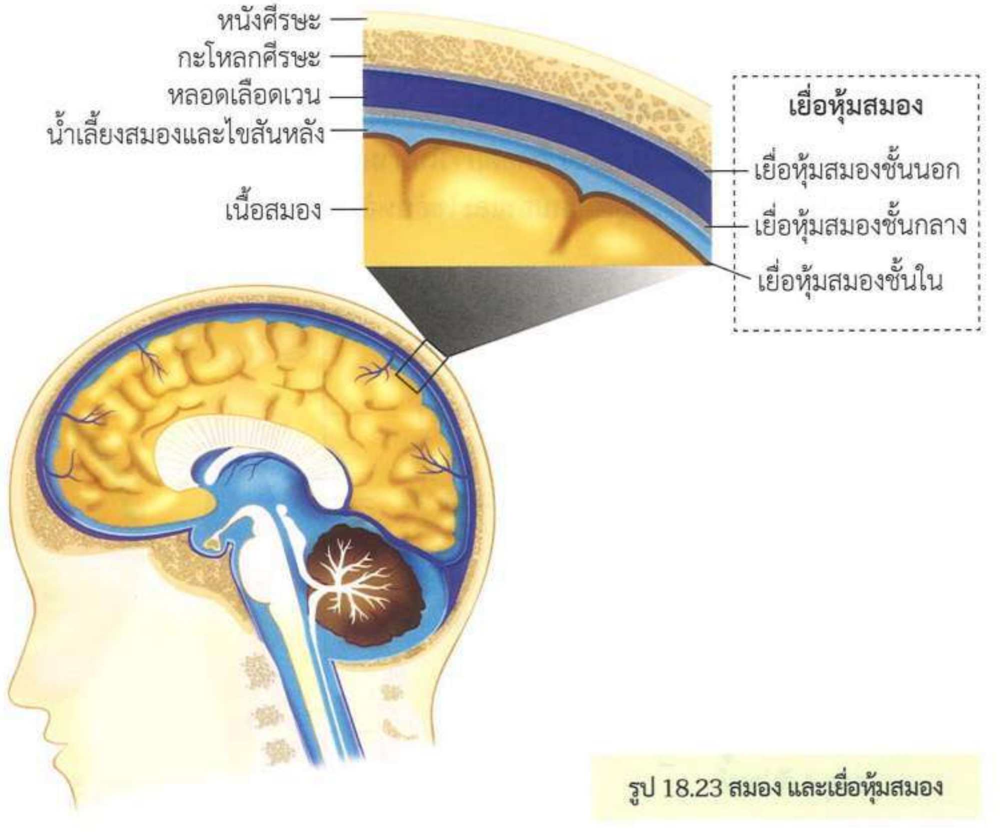
สมองและไขสันหลังของสัตว์มีกระดูกสันหลังและมนุษย์เจริญและเปลี่ยนแปลงมาจากโครงสร้างเดียวกันคือ **นิวรัลทิวบ์** (neural tube) ที่ทอดยาวไปตามแนวสันหลังของเอ็มบริโอในระยะ 3 สัปดาห์ เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 4 จะเริ่มเจริญเป็นสมองและไขสันหลัง ดังรูป 18.22



รูป 18.22 การเจริญของสมองและไขสันหลังในมนุษย์

ส่วนของนิวรัลทิวบ์ด้านหน้าที่พองออกนี้จะพัฒนาเป็นสมอง 3 ส่วนคือ **สมองส่วนหน้า** (forebrain) **สมองส่วนกลาง** (midbrain) และ**สมองส่วนหลัง** (hindbrain) ทั้งสมองและไขสันหลังจะอยู่ภายในเยื่อหุ้ม ซึ่งเยื่อหุ้มนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ชั้นนอกมีลักษณะหนาเหนียวและแข็งแรง ทำหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือนแก่ส่วนที่เป็นเนื้อสมองและไขสันหลัง ชั้นกลางเป็นเยื่อบาง ๆ ส่วนชั้นในแนบสนิทไปตามรอยโค้งเว้าของสมองและไขสันหลังและมีหลอดเลือดมาหล่อเลี้ยงอยู่จำนวนมาก เพื่อนำสารอาหารและแก๊สออกซิเจนมาเลี้ยงเซลล์ชั้นในของสมองและไขสันหลัง ดังรูป 18.23

ระหว่างเยื่อหุ้มสมองชั้นกลางกับชั้นในมีช่องที่มี**น้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลัง** (cerebrospinal fluid; CSF) ซึ่งช่องนี้มีทางติดต่อกับโพรงภายในสมองและช่องภายในไขสันหลัง น้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลังมีหน้าที่นำสารอาหารและแก๊สออกซิเจนมาหล่อเลี้ยงเซลล์ประสาทและนำของเสียออกจากเซลล์

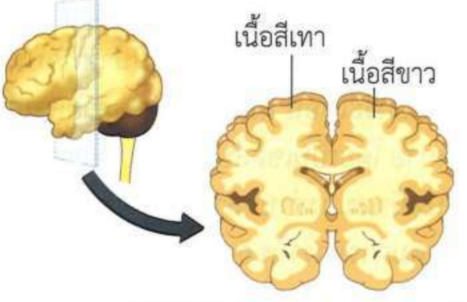


รูป 18.23 สมอง และเยื่อหุ้มสมอง

? ถ้าทางเดินของน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลังอุดตัน จะเกิดผลเสียต่อร่างกายอย่างไร

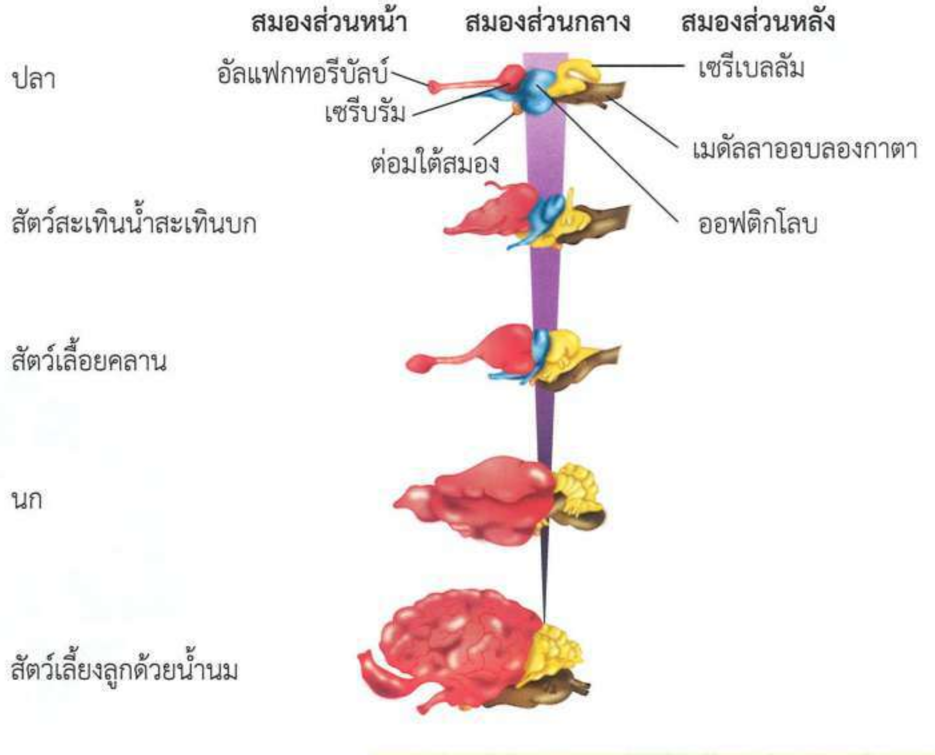
18.3.1 โครงสร้างและหน้าที่ของสมอง

เมื่อพิจารณาสมองของสัตว์มีกระดูกสันหลัง พบว่าส่วนนอกเป็น**เนื้อสีเทา** (gray matter) ส่วนนี้มีตัวเซลล์ประสาทและแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม แต่ส่วนในของสมองหลายแห่งมีเส้นใยประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม ดังนั้นจึงเห็นเป็น**เนื้อสีขาว** (white matter) ดังรูป 18.24



รูป 18.24 โครงสร้างของสมอง

จากการศึกษาเปรียบเทียบระบบประสาทของสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดต่าง ๆ ทำให้ทราบว่าทั้งสมองและไขสันหลังมีพัฒนาการแตกต่างกันไปตามระดับวิวัฒนาการของสัตว์ดังรูป 18.25



รูป 18.25 วิวัฒนาการของสมองในสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดต่าง ๆ

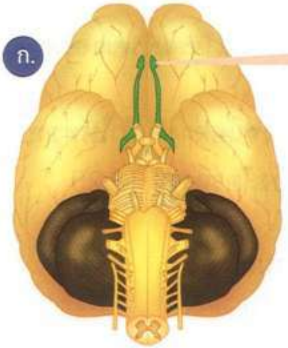
? ปลามีสมองส่วนใดเจริญกว่าสัตว์กลุ่มอื่น

? สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมมีการพัฒนาของสมองส่วนใดมากกว่าสัตว์กลุ่มอื่น ๆ

? สมองของสัตว์มีกระดูกสันหลังมีการพัฒนาตามวิวัฒนาการอย่างไร

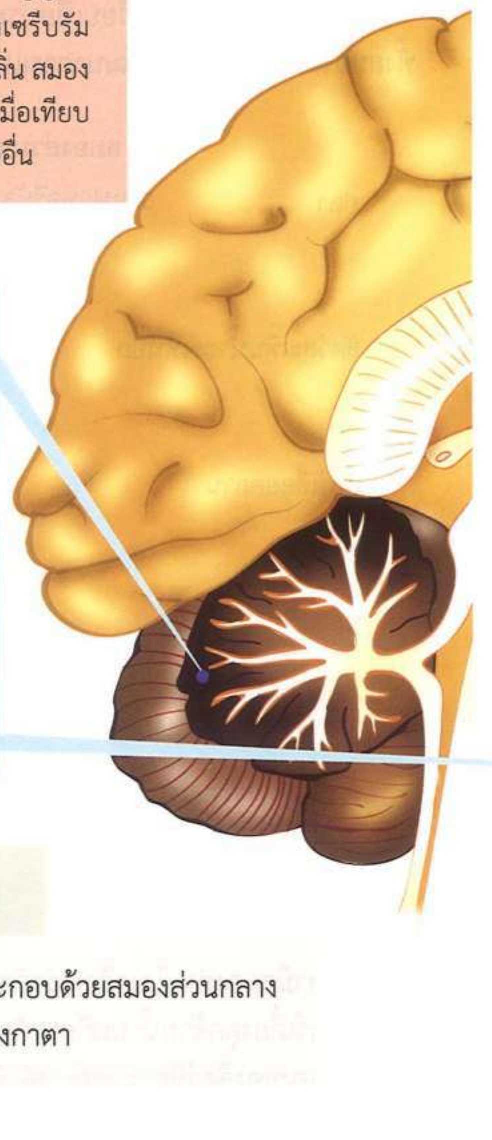
สมองของมนุษย์มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับน้ำหนักร่างกายและมีการเจริญของสมองส่วนหน้ามากกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ สมองมีน้ำหนักประมาณ 1.4 กิโลกรัม หุ้มด้วยกะโหลกศีรษะซึ่งป้องกันการกระทบกระเทือน สมองประกอบด้วยเซลล์ประสาทมากกว่าร้อยละ 90 ของเซลล์ประสาททั้งหมดในร่างกาย โดยเป็นเซลล์ประสาทประสานงานเป็นส่วนใหญ่ สมองของมนุษย์แบ่งได้ 3 ส่วนได้แก่ สมองส่วนหน้า สมองส่วนกลางและสมองส่วนหลัง และยังแบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ ได้อีก ซึ่งแต่ละส่วนมีการควบคุมการทำงานของร่างกายแตกต่างกัน สรุปได้ดังรูป 18.26

ก.



อัลแฟกทอรีบัลบ์ (olfactory bulb)
- เกี่ยวกับการรับกลิ่น โดยรวมสัญญาณรับความรู้สึกจากจมูกไปยังเซรีบรัมส่วนที่ประมวลผลเกี่ยวกับกลิ่น สมองส่วนนี้ในมนุษย์มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับสัตว์มกระดูกสันหลังชนิดอื่น

ข.



เซรีเบลลัม (cerebellum)
- ประสานการเคลื่อนไหวของร่างกายให้ราบรื่น และเที่ยงตรง
- ควบคุมการทรงตัวของร่างกาย

เมดัลลาออบลองกาตา (medulla oblongata)
- ควบคุมการหายใจ
- ควบคุมการเต้นของหัวใจ
- ควบคุมความดันเลือด
- ควบคุมการกลืน การย่อย อาเจียน

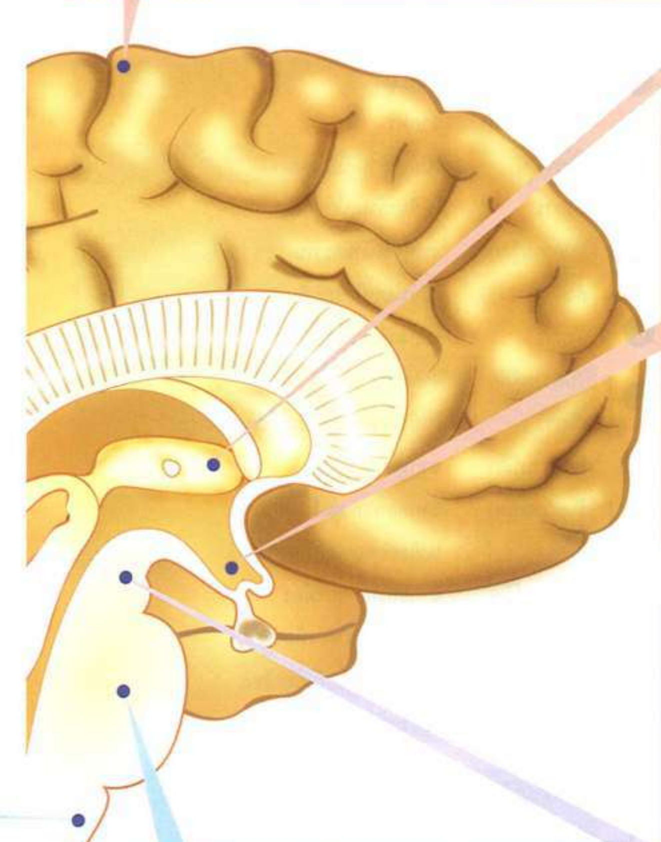
สมองส่วนหน้า
สมองส่วนกลาง
สมองส่วนหลัง

ความรู้เพิ่มเติม

ก้านสมอง (brainstem) ประกอบด้วยสมองส่วนกลาง พอนส์ และเมดัลลาออบลองกาตา

เซรีบรัม (cerebrum)
- ความคิด ความจำ ปัญญา การเรียนรู้ การพูด การตอบสนองที่ซับซ้อน
- ศูนย์กลางการควบคุมการทำงานด้านต่าง ๆ ของร่างกาย
- ประมวลผลเกี่ยวกับกลิ่น
- ประมวลผลเกี่ยวกับเสียง
- ประมวลผลเกี่ยวกับรส

ทาลามัส (thalamus)
- ศูนย์รวบรวมกระแสประสาทที่ผ่านเข้าออกแล้วแยกกระแสประสาทกลับไปยังสมองที่เกี่ยวข้องกับกระแสประสาทนั้น



ไฮโพทาลามัส (hypothalamus)
- ควบคุมการรักษาดุลยภาพของร่างกาย เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ
- ควบคุมความต้องการพื้นฐาน เช่น น้ำ อาหาร การพักผ่อน ความต้องการทางเพศ
- ควบคุมการหลั่งฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหน้า สร้างฮอร์โมนบางชนิด
- ควบคุมการเต้นของหัวใจและความดันเลือด

สมองส่วนกลาง (midbrain)
- ควบคุมการเคลื่อนไหวของตา ศีรษะและลำตัว เพื่อตอบสนองต่อแสง เสียงและประมวลผลเสียงที่ได้ยิน
- ในปลาและสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการมองเห็นเรียกว่า **ออพติกโลบ** (optic lobe)

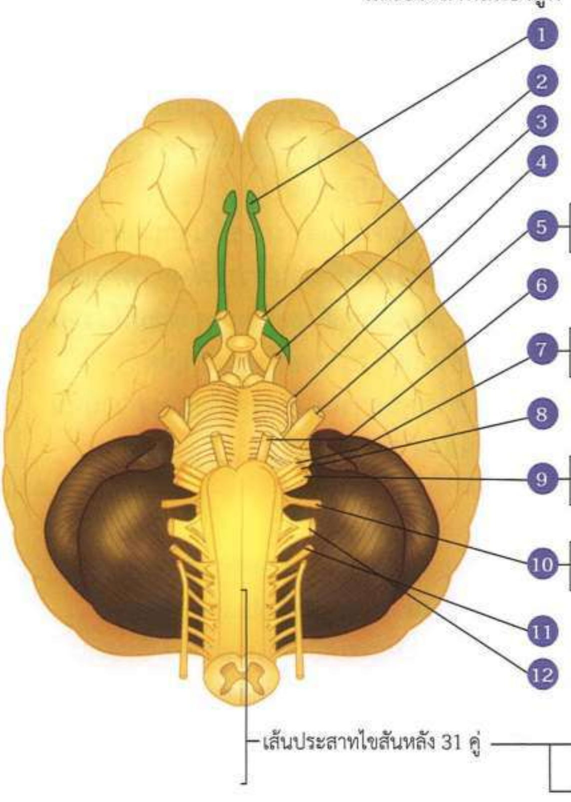
พอนส์ (pons)
- ควบคุมการหายใจ
- เป็นทางผ่านของกระแสประสาทระหว่างเซรีเบลลัมและระหว่างเซรีเบลลัมกับไขสันหลัง
- เป็นศูนย์กลางรีเฟล็กซ์

รูป 18.26 โครงสร้างสมองของมนุษย์
ก. ด้านล่าง ข. ด้านข้างผ่าตามยาว

? การทำข้อสอบเพื่อหาคำตอบที่ถูกต้องใช้สมองส่วนใด

? ผู้ที่มีอาการเดินเซ หรือทรงตัวไม่ได้เกิดจากความผิดปกติของสมองส่วนใด

สมองยังมีเส้นประสาทอีก 12 คู่ที่แยกออกจากสมองไปยังอวัยวะต่าง ๆ เรียกว่าเส้นประสาทสมอง ซึ่งบางคู่ทำหน้าที่เป็น**เส้นประสาทรับความรู้สึก** (sensory nerve) ที่รับข้อมูลเข้าสู่สมอง บางคู่เป็น**เส้นประสาทสั่งการ** (motor nerve) ที่นำคำสั่งควบคุมการตอบสนองไปยังอวัยวะที่ติดต่อ และบางคู่เป็น**เส้นประสาทผสม** (mixed nerve) ประกอบด้วยเส้นใยประสาทรับความรู้สึกและเส้นใยประสาทสั่งการ สรุปได้ดังรูป 18.27



เส้นประสาทสมองคู่ที่	หน้าที่	อวัยวะที่ติดต่อ
1	รับความรู้สึก	จากจมูก
2	รับความรู้สึก	จากตา
3	สั่งการ	ไปยังกล้ามเนื้อของตา
4	สั่งการ	ไปยังกล้ามเนื้อของตา
5	รับความรู้สึก	จากใบหน้าและฟัน
	สั่งการ	ไปยังใบหน้าและฟัน
6	สั่งการ	ไปยังกล้ามเนื้อของตา
7	รับความรู้สึก	จากตุ่มรับรส
	สั่งการ	ไปยังต่อมน้ำลายและกล้ามเนื้อใบหน้า
8	รับความรู้สึก	จากหู
9	รับความรู้สึก	จากคอหอย ตุ่มรับรส
	สั่งการ	ไปยังคอหอย ต่อมน้ำลาย
10	รับความรู้สึก	จากช่องอก ช่องท้อง
	สั่งการ	ไปยังช่องอก ช่องท้อง
11	สั่งการ	ไปยังกล้ามเนื้อที่ใช้ยกไหล่
12	สั่งการ	ไปยังกล้ามเนื้อลิ้น
เส้นประสาทไขสันหลัง 31 คู่	รับความรู้สึก	จากกล้ามเนื้อแขน ขา และลำตัว
	สั่งการ	ไปยังกล้ามเนื้อแขน ขา และลำตัว

รูป 18.27 เส้นประสาทสมองของมนุษย์

? เส้นประสาทสมองคู่ใดเป็นเส้นประสาทรับความรู้สึก คู่ใดเป็นเส้นประสาทสั่งการ และคู่ใดที่เป็นเส้นประสาทผสม

? ขณะอ่านหนังสือ เส้นประสาทสมองคู่ใดบ้างที่ทำงานเกี่ยวข้องโดยตรง

? การรับรสอาหารเป็นหน้าที่ของเส้นประสาทสมองคู่ใด

รู้หรือไม่

โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) เป็นโรคที่เกิดกับสมองส่วนเซรีบรัม เกิดจากการตายของเซลล์ประสาทเนื่องจากความผิดปกติของโปรตีนภายในเซลล์ประสาทและไซแนปส์ถูกทำลาย ส่วนใหญ่พบในผู้สูงอายุประมาณ 65 ปี ขึ้นไป ผู้ป่วยจะมีอาการความจำเสื่อม หลงลืม บุคลิกภาพหรือนิสัยเปลี่ยนไป หากอาการของโรคดำเนินต่อไปจะทำให้ไม่สามารถทำกิจกรรมง่าย ๆ ได้ หรือไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ สาเหตุของโรคยังไม่ทราบแน่ชัด แต่พบว่ามีความเกี่ยวข้องกับอายุที่มากขึ้น เคยประสบอุบัติเหตุเกี่ยวกับสมอง หรือครอบครัวมีประวัติผู้ป่วยโรคนี้

โรคพาร์คินสัน (Parkinson 's disease) เกิดจากเซลล์ประสาทในสมองส่วนที่ทำหน้าที่สร้างสารโดพามีน (dopamine) เสื่อมหรือตาย สารโดพามีนนี้มีผลต่อการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย ดังนั้นถ้าสารโดพามีนลดลง ผู้ป่วยจะเกิดอาการติดขัดทางการเคลื่อนไหวของร่างกายและการทรงตัว เช่น อาการสั่น เคลื่อนไหวช้า เดินลำบากและติดขัด เวลาเดินแล้วไม่แกว่งแขนไปมา สาเหตุของโรคยังไม่ทราบแน่ชัด แต่พบว่ามีความเกี่ยวข้องกับมิวเทชันที่เกิดกับยีนที่สังเคราะห์โปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการทำงานของสมอง หรือเกิดจากสิ่งแวดล้อม เช่น การได้รับสารบางอย่างเป็นเวลานาน ๆ โรคนี้ยังไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้

ความรู้เพิ่มเติม

เส้นประสาท คือ กลุ่มของแอกซอนที่อยู่รวมกันหลาย ๆ แอกซอน ถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอยู่นอกระบบประสาทส่วนกลาง ในมนุษย์พบเส้นประสาทที่แยกออกจากสมองเรียกว่า เส้นประสาทสมองหรือแยกออกจากไขสันหลังเรียกว่า เส้นประสาทไขสันหลัง ซึ่งภายในเส้นประสาทมีเส้นใยประสาทเพียง 1 ชนิดหรือ 2 ชนิดอยู่ภายในมัดเดียวกัน เส้นประสาทจะทำงานตามเส้นใยประสาทที่เป็นส่วนประกอบ เส้นประสาทแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

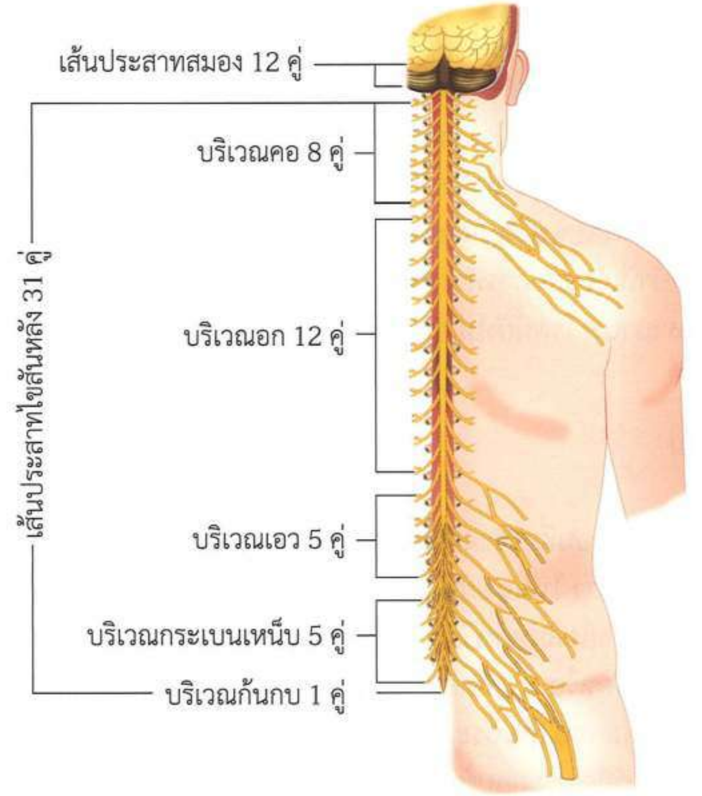
- เส้นประสาทรับความรู้สึก ประกอบด้วยเส้นใยประสาทรับความรู้สึก
- เส้นประสาทสั่งการ ประกอบด้วยเส้นใยประสาทสั่งการ
- เส้นประสาทผสม ประกอบด้วยเส้นใยประสาทรับความรู้สึกและเส้นใยประสาทสั่งการ



โครงสร้างของเส้นประสาท

18.3.2 โครงสร้างและหน้าที่ของไขสันหลัง

ไขสันหลังเป็นส่วนที่ต่อจากสมองอยู่ภายในกระดูกสันหลังบริเวณคอข้อแรกถึงกระดูกสันหลังบริเวณเอวข้อที่ 2 และมีเส้นประสาทแยกออกจากไขสันหลัง เรียกว่า เส้นประสาทไขสันหลัง จำนวน 31 คู่ โดยส่วนปลายของไขสันหลังจะเรียวเล็กจนเหลือแต่เพียงส่วนของเส้นประสาทไขสันหลังเท่านั้น ดังรูป 18.28 ทั้งไขสันหลังและเส้นประสาทไขสันหลังทำหน้าที่ประมวลผลการตอบสนอง เช่น การเกิดรีเฟล็กซ์ และการถ่ายทอดกระแสประสาท โดยเส้นประสาทไขสันหลังทุกคู่จะทำหน้าที่รับความรู้สึกจากกล้ามเนื้อบริเวณแขนขาและลำตัวเข้าสู่ไขสันหลังและนำคำสั่งออกจากไขสันหลังไปยังกล้ามเนื้อแขน ขาและลำตัว

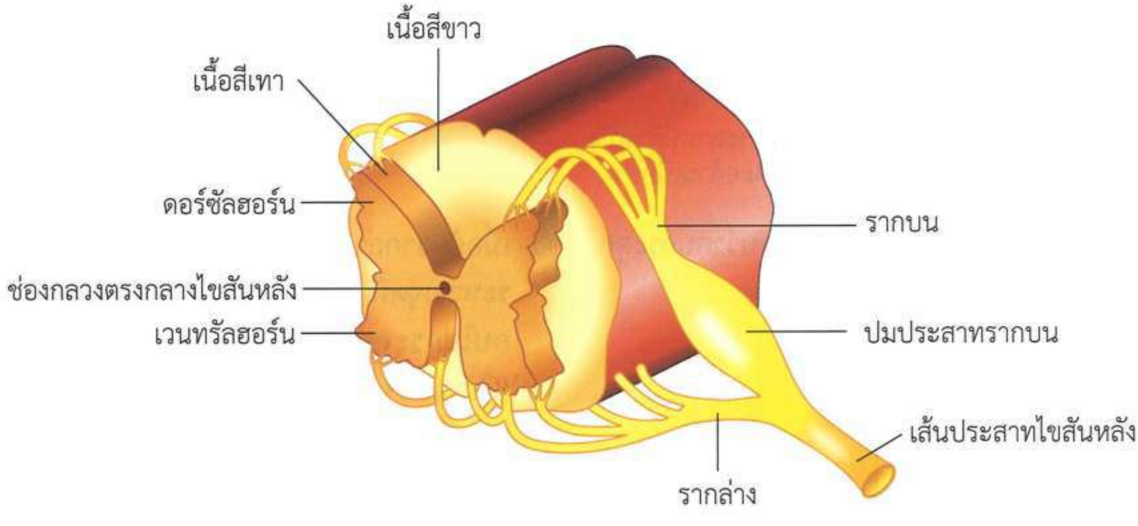


รูป 18.28 ไขสันหลังและเส้นประสาทไขสันหลัง

? เพราะเหตุใด การฉีดยาเข้าที่ไขสันหลังบริเวณต่ำกว่ากระดูกสันหลังบริเวณเอวข้อที่ 2 ลงไปจึงมีอันตรายน้อยกว่าบริเวณอื่น

? ไขสันหลังบริเวณใดถ้าถูกทำลายแล้วจะทำให้เป็นอัมพาตตั้งแต่บริเวณเอวลงไป

ไขสันหลังประกอบด้วย 2 บริเวณ คือ บริเวณเนื้อสีเทา มีตัวเซลล์ประสาทอยู่หนาแน่นล้อมรอบด้วยเนื้อสีขาวซึ่งเป็นบริเวณที่มีเส้นใยประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม ดังรูป 18.29 ตรงกลางของไขสันหลังบริเวณเนื้อสีเทาจะมีช่องกลวง ภายในมีน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลังบรรจุอยู่



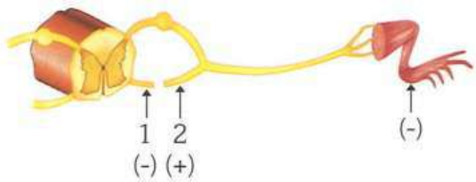
รูป 18.29 โครงสร้างภาคตัดขวางของไขสันหลัง

เมื่อพิจารณาโครงสร้างภาคตัดขวางของไขสันหลังพบว่าบริเวณเนื้อสีเทามีลักษณะคล้ายตัว H หรือปีกผีเสื้อซึ่งมี 4 ปีก โดย 2 ปีกบนเรียกว่า **ดอร์ซัลฮอร์น** (dorsal horn) 2 ปีกล่างเรียกว่า **เวนทรัลฮอร์น** (ventral horn) ตรงกลางมี**ช่องกลวง** (central canal) ซึ่งมีน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลังบรรจุอยู่ และมีเส้นประสาทไขสันหลังแยกออกมาจากไขสันหลัง โดยเส้นประสาทไขสันหลังส่วนที่อยู่ใกล้กับไขสันหลังจะแยกเป็น**รากบน** (dorsal root) ซึ่งมีปมประสาทอยู่ด้วยและอยู่ต่อกับบริเวณดอร์ซัลฮอร์น ส่วน**รากล่าง** (ventral root) ไม่มีปมประสาทอยู่ต่อกับเวนทรัลฮอร์น เส้นประสาทไขสันหลังเหล่านี้ทำหน้าที่ในการรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้า **เส้นประสาทไขสันหลังสามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้อย่างไร**

จากการศึกษาเกี่ยวกับการรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าโดยเส้นประสาทไขสันหลังด้วยการทดลองในกบ โดยเมื่อทำลายสมองกบแล้วเอาเข็มแทงที่ขาหลัง พบว่ากบมีการตอบสนองแตกต่างกัน ดังรูป 18.30

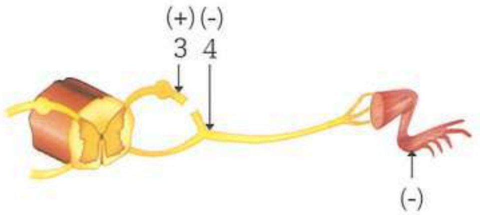


ก. เมื่อใช้เข็มแทงขาหลังของกบ พบว่ากบกระตุกขาหลัง



ข. - เมื่อตัดรากล่างของเส้นประสาทไขสันหลังระหว่างจุดที่ 1 และ 2 แล้วใช้เข็มแทงขาหลังกบไม่กระตุกขาหลัง แม้ว่าจะใช้เข็มแทงบริเวณอื่น ๆ ของลำตัว กบก็ไม่กระตุกขาหลังเช่นเดียวกัน

- ใช้เข็มเขี่ยเส้นประสาทไขสันหลังตรงจุดที่ 2 พบว่ากบกระตุกขาหลังได้



ค. เมื่อตัดรากบนของเส้นประสาทไขสันหลังระหว่างจุดที่ 3 และ 4 แล้วใช้เข็มแทงที่ขาหลังกบจะไม่กระตุกขาหลัง แต่ถ้าใช้เข็มเขี่ยตรงจุดที่ 3 พบว่ากบกระตุกขาหลังได้

↓ คือ ตำแหน่งที่ใช้เข็มแทง
(+) คือ ตอบสนอง
(-) คือ ไม่ตอบสนอง

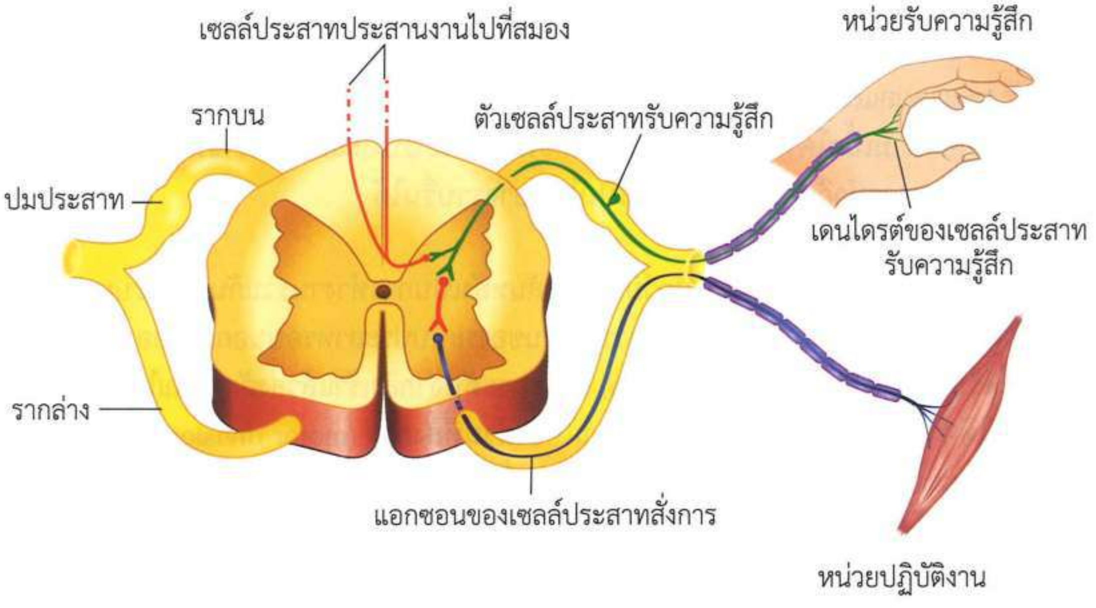
รูป 18.30 การทดลองส่งกระแสประสาทของเส้นประสาทไขสันหลังของกบ

? จากรูป 18.30 สามารถอธิบายผลการทดลองแต่ละขั้นตอน และสรุปผลการทดลองได้อย่างไร

? จงเขียนแผนผังแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทจากการทดลองนี้

เมื่อศึกษาโครงสร้างของไขสันหลังและเส้นประสาทไขสันหลังของมนุษย์พบว่า**ปมประสาทรากบน** (dorsal root ganglion) มีตัวเซลล์ของเซลล์ประสาทรับความรู้สึกทำหน้าที่รับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกส่งมาตามแอกซอนและยื่นเข้าในรากบนเข้าสู่ไขสันหลัง ขณะที่รากล่างประกอบด้วยแอกซอนของเซลล์ประสาทสั่งการ ทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทไปยังหน่วยปฏิบัติงาน

นอกจากนี้ยังมีเซลล์ประสาทประสานงาน ทำหน้าที่ถ่ายทอดกระแสประสาทจากเซลล์ประสาทรับความรู้สึกไปยังเซลล์ประสาทสั่งการ ถ้าเซลล์ประสาทประสานงานทำหน้าที่ถ่ายทอดกระแสประสาทไปยังสมองจะมีแอกซอนเข้าไปในสมอง ดังรูป 18.31



รูป 18.31 ทิศทางการถ่ายทอดของกระแสประสาทเข้าและออกจากไขสันหลัง

? เส้นประสาทไขสันหลังเป็นเส้นประสาทรับความรู้สึกหรือเส้นประสาทสั่งการหรือเป็นเส้นประสาทผสม

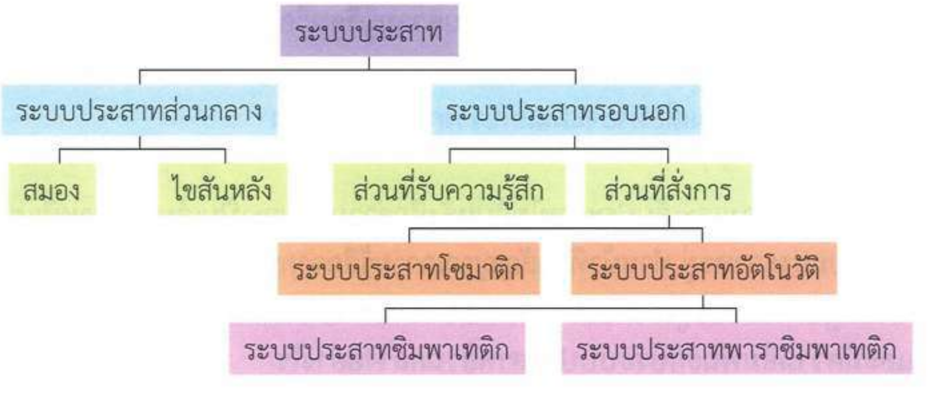
? ถ้าไขสันหลังเกิดความเสียหายจะมีผลกับร่างกายอย่างไรบ้าง

เส้นประสาทสมองและเส้นประสาทไขสันหลังที่กล่าวมานั้นจะเป็นเส้นประสาทที่แยกออกมาเป็นคู่ ๆ และมีปมประสาทอยู่ ทำหน้าที่รับสัญญาณความรู้สึกจากหน่วยรับความรู้สึกและออกคำสั่งควบคุมหน่วยปฏิบัติงาน จัดอยู่ในระบบประสาทรอบนอก **ระบบประสาทรอบนอกมีกลไกการทำงานอย่างไร และมีความสัมพันธ์กับระบบประสาทส่วนกลางอย่างไร**

18.4 การทำงานของระบบประสาท

กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เป็นการทำงานร่วมกันของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย โดยมีระบบประสาทควบคุมการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น การเล่นเปียโน ตาที่เป็นหน่วยรับความรู้สึกจะมองเห็นตัวโน้ตซึ่งเป็นสิ่งเร้าภายนอก แล้วมีการส่งสัญญาณผ่านทางเซลล์ประสาทรับความรู้สึกเข้าสู่สมอง ให้สมองได้ประมวลผลและเกิดการคิด ตัดสินใจแล้วส่งสัญญาณผ่านเซลล์ประสาทสั่งการไปจนถึงหน่วยปฏิบัติงานคือกล้ามเนื้อโครงร่างบริเวณแขนและนิ้วมือ **ระบบประสาทมีการทำงานอย่างไรจึงสามารถควบคุมการทำกิจกรรมต่าง ๆ ให้เป็นไปอย่างราบรื่นได้**

ระบบประสาทของมนุษย์และสัตว์มีกระดูกสันหลังเป็นการทำงานร่วมกันของระบบประสาทส่วนกลางกับระบบประสาทรอบนอก โดยการทำงานของระบบประสาทรอบนอกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ **ส่วนที่รับความรู้สึก** (sensory division) ซึ่งถูกกระตุ้นจากสิ่งเร้าแล้วส่งสัญญาณไปที่สมองและไขสันหลังให้ทำการประมวลผลและส่งสัญญาณไปยัง**ส่วนที่สั่งการ** (motor division) ถ้าการสั่งการเกิดขึ้นกับหน่วยปฏิบัติงานที่บังคับได้ เช่น กล้ามเนื้อโครงร่างก็จัดเป็น**ระบบประสาทโซมาติก** (somatic nervous system; SNS) ถ้าการสั่งการนั้นเกิดกับหน่วยปฏิบัติงานที่บังคับไม่ได้ เช่น อวัยวะภายในและต่อมต่าง ๆ จัดเป็น**ระบบประสาทอัตโนวัติ** (autonomic nervous system; ANS) โดยระบบประสาทอัตโนวัติแบ่งเป็น 2 ระบบย่อย ได้แก่ **ระบบประสาทซิมพาเทติก** (sympathetic nervous system) และ**ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก** (parasympathetic nervous system) การทำงานของระบบประสาทดังกล่าวสรุปได้ดังรูป 18.32

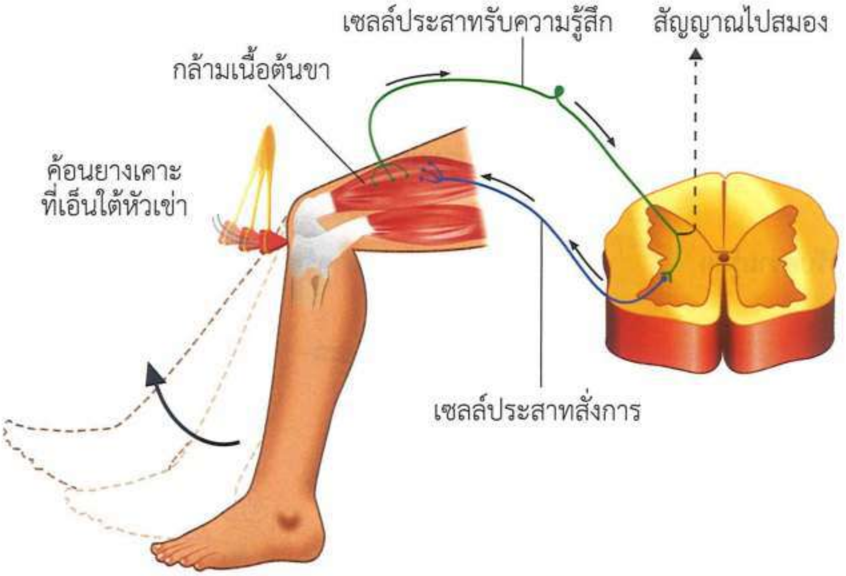


รูป 18.32 การทำงานของระบบประสาทของมนุษย์และสัตว์มีกระดูกสันหลัง

18.4.1 ระบบประสาทโซมาติก

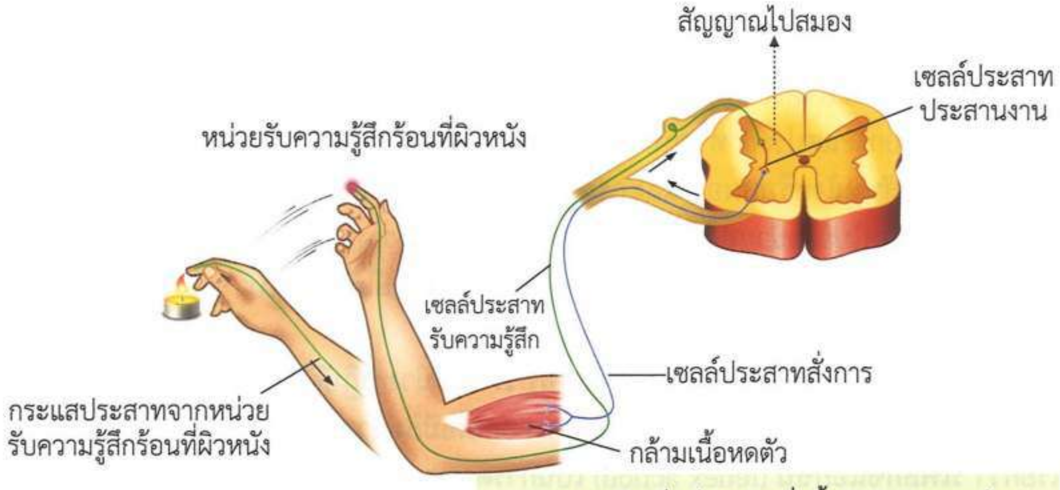
ระบบประสาทโซมาติกควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อโครงร่าง โดยเซลล์ประสาทรับความรู้สึกจะรับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกผ่านเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองเข้าสู่ไขสันหลังหรือสมอง และกระแสประสาทจะถูกส่งผ่านเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองไปยังหน่วยปฏิบัติงานซึ่งเป็นกล้ามเนื้อโครงร่าง เช่น การเดิน หรือบางครั้งอาจทำงานโดยผ่านไขสันหลังเท่านั้น เช่น การกระตุกขาเมื่อถูกเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่าเบา ๆ

การตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้นบริเวณหน่วยปฏิบัติงานซึ่งเกิดขึ้นได้เองนี้เรียกว่า **รีเฟล็กซ์** (reflex) ส่วนกิริยาหรืออาการที่แสดงออกเมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้นเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้น ๆ เรียกว่า **รีเฟล็กซ์แอกชัน** (reflex action) เป็นการตอบสนองของหน่วยปฏิบัติงานที่เกิดขึ้นในทันทีทันใด โดยไม่ได้มีการเตรียมหรือคิดล่วงหน้าซึ่งเป็นการสั่งการของไขสันหลัง โดยสมองไม่ต้องคิดหรือสั่งการ แต่สมองสามารถรับรู้ถึงการตอบสนองจากการส่งสัญญาณผ่านเซลล์ประสาทรับความรู้สึก เช่น การเกิดรีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่าดังรูป 18.33



รูป 18.33 การเกิดรีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่า

ส่วนการเกิดรีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อนิ้วมือสัมผัสกับความร้อนแล้วจะชักนิ้วมือออกทันที โดยสมองไม่ต้องคิดหรือสั่งการ และสมองยังไม่รู้ว่ามีอะไรเกิดขึ้น จนกระทั่งในเสี้ยววินาทีต่อมาจึงรู้สึกเจ็บและรับรู้ว่านิ้วมือสัมผัสกับความร้อน ซึ่งการรับรู้ว่าร้อนนั้นเกิดขึ้นได้เพราะมีการส่งกระแสประสาทไปที่สมองทำให้รู้สึกร้อน สรุปได้ดังรูป 18.34



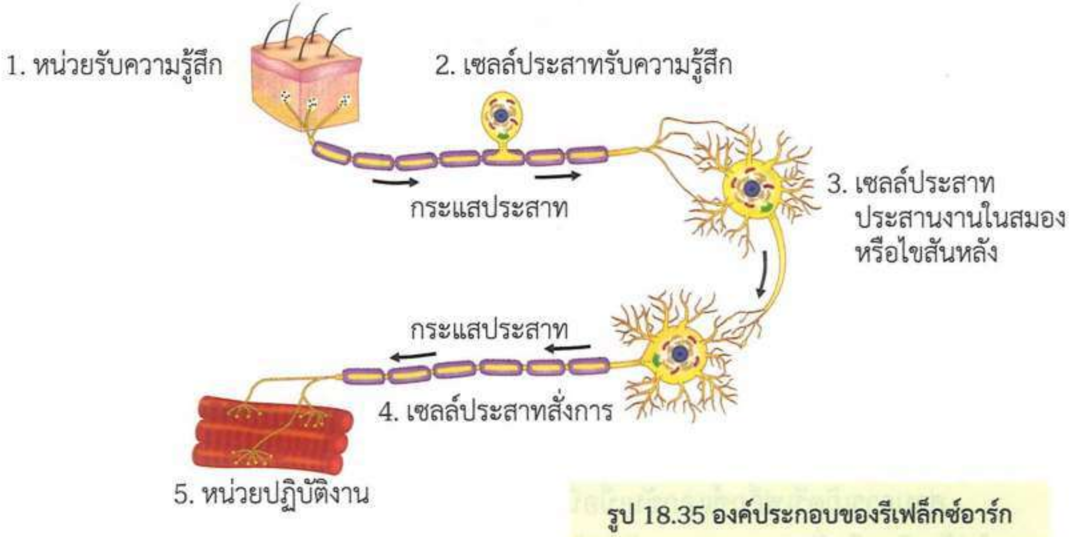
รูป 18.34 รีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อนิ้วมือสัมผัสความร้อน

? การเกิดรีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่ามีเซลล์ประสาทชนิดใดเกี่ยวข้องบ้าง

? รีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่ากับเมื่อนิ้วมือสัมผัสความร้อนเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? รีเฟล็กซ์แอกชันมีประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างไร

กลไกการเกิดรีเฟล็กซ์แอกชันข้างต้นมีการทำงานของระบบประสาทที่เป็นวงจรเรียกว่า รีเฟล็กซ์อาร์ก (reflex arc) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อย ๆ ดังรูป 18.35



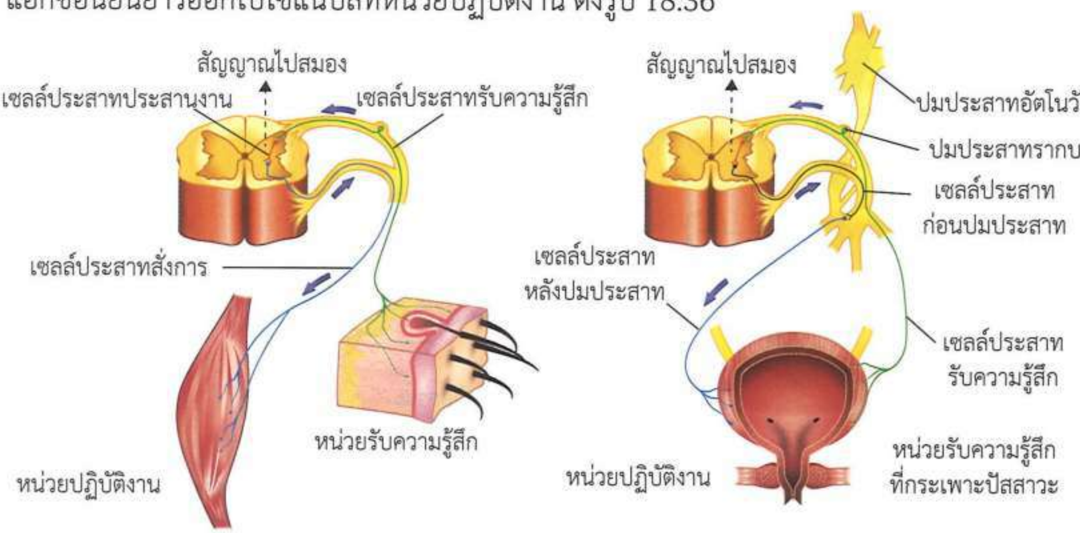
รูป 18.35 องค์ประกอบของรีเฟล็กซ์อาร์ก

บางครั้งรีเฟล็กซ์อาร์กอาจไม่จำเป็นต้องมีเซลล์ประสาทประสานงานก็ได้ เช่น การกระตุกขาเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่า

18.4.2 ระบบประสาทอัตโนวัติ

ระบบประสาทอัตโนวัติควบคุมการรักษาดุลยภาพต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น การเต้นของหัวใจ การหายใจ อุณหภูมิของร่างกาย การหรี่หรือขยายรูม่านตา กระบวนการย่อยอาหาร กิจกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นกับหน่วยปฏิบัติงานที่ไม่สามารถควบคุมได้หรืออาจกล่าวได้ว่าอยู่**นอกอำนาจจิตใจ** (involuntary) เช่น กล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ และต่อมต่าง ๆ ระบบประสาทอัตโนวัติแบ่งได้เป็น 2 ระบบย่อย คือ ระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติก **ระบบประสาทอัตโนวัติควบคุมกิจกรรมของหน่วยปฏิบัติงานได้อย่างไร**

ระบบประสาทอัตโนวัติประกอบด้วยหน่วยรับความรู้สึกซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่อวัยวะภายใน และมีเซลล์ประสาทรับความรู้สึกรับกระแสประสาทผ่านรากบนของเส้นประสาทไขสันหลังเข้าสู่ไขสันหลัง จากไขสันหลังจะมีเซลล์ประสาทสั่งการออกจากไขสันหลังไปไซแนปส์กับเซลล์ประสาทสั่งการอีกเซลล์ที่**ปมประสาทอัตโนวัติ** (autonomic ganglion) เรียกเซลล์ประสาทสั่งการที่ออกจากไขสันหลังมาที่ปมประสาทอัตโนวัติว่า **เซลล์ประสาทก่อนปมประสาท** (preganglionic neuron) โดยมีตัวเซลล์อยู่ที่ระบบประสาทส่วนกลางหรือไขสันหลังบริเวณเนื้อสีเทา มีแอกซอนยื่นยาวออกไปถึงบริเวณปมประสาทอัตโนวัติ และเรียกเซลล์ประสาทสั่งการอีกเซลล์ที่ออกจากปมประสาทอัตโนวัติว่า **เซลล์ประสาทหลังปมประสาท** (postganglionic neuron) ซึ่งมีตัวเซลล์อยู่ที่ปมประสาทอัตโนวัติและมีแอกซอนยื่นยาวออกไปไซแนปส์ที่หน่วยปฏิบัติงาน ดังรูป 18.36

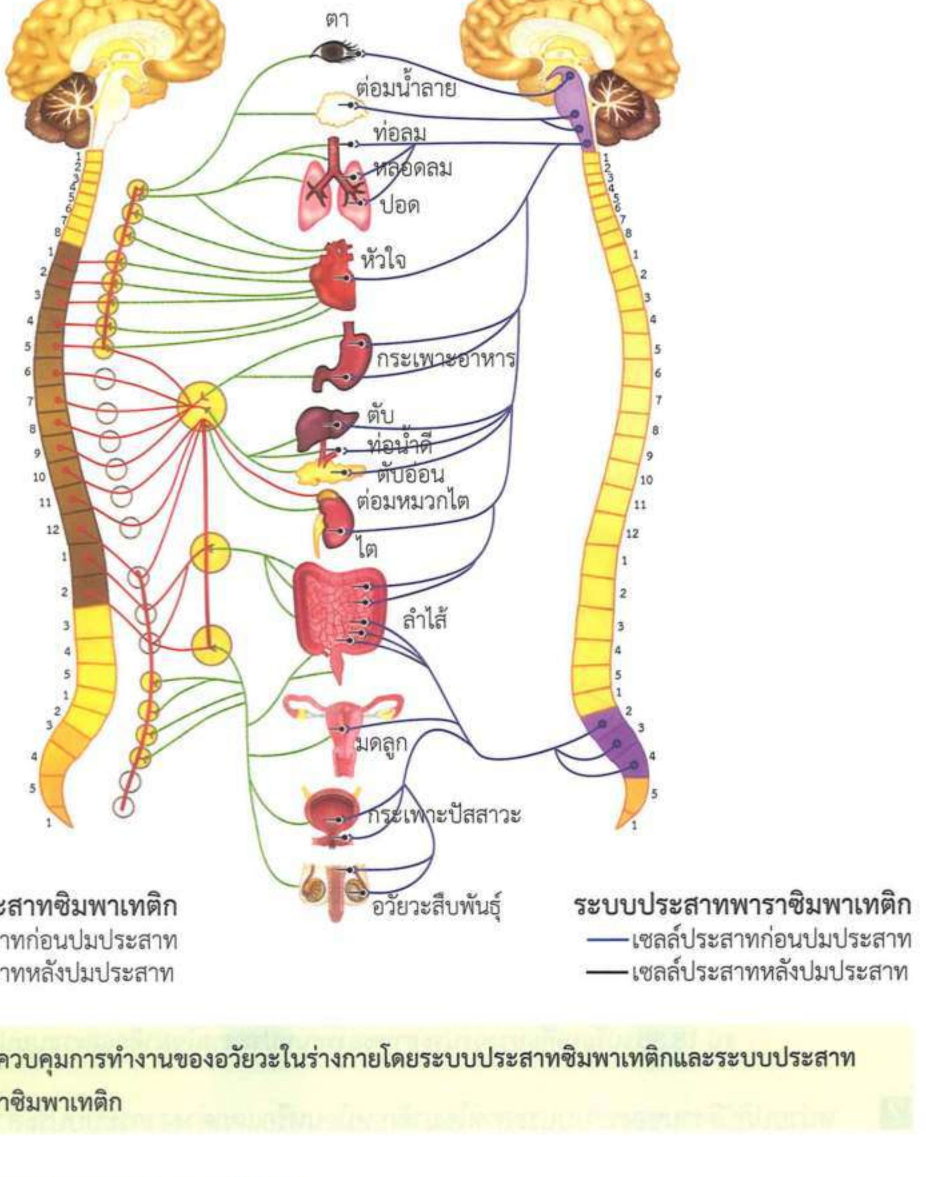


ก. ระบบประสาทโซมาติก ข. ระบบประสาทอัตโนวัติ

รูป 18.36 เปรียบเทียบวงจรประสาทของระบบประสาทโซมาติกและระบบประสาทอัตโนวัติ

? หน่วยปฏิบัติงานของระบบประสาทโซมาติกเหมือนหรือแตกต่างจากระบบประสาทอัตโนวัติอย่างไร

เมื่ออยู่ในเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดอาการตกใจ หรือหวาดกลัว หัวใจจะเต้นเร็วและแรงขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปหัวใจจะเต้นช้าลงแล้วกลับเข้าสู่ภาวะปกติ การทำงานดังกล่าวของหัวใจควบคุมด้วยระบบประสาทอัตโนวัติที่เกิดจากการทำงานแบบสภาวะตรงกันข้ามของระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติก โดยระบบประสาทซิมพาเทติกกระตุ้นการเต้นของหัวใจ ส่วนระบบประสาทพาราซิมพาเทติกจะยับยั้งการเต้นของหัวใจ ระบบประสาททั้งสองระบบควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในร่างกายสรุปได้ดังรูป 18.37



รูป 18.37 การควบคุมการทำงานของอวัยวะในร่างกายโดยระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

ระบบประสาทซิมพาเทติก

ระบบประสาทซิมพาเทติกส่วนใหญ่จะทำหน้าที่กระตุ้นหน่วยปฏิบัติงาน ตัวเซลล์ของเซลล์ประสาทก่อนปมประสาทอยู่ที่บริเวณไขสันหลังส่วนอกและเอว มีแอกซอนค่อนข้างสั้นและยื่นออกไปไซแนปส์กับเซลล์ประสาทหลังปมประสาท แอกซอนของเซลล์ประสาทหลังปมประสาทจะยื่นยาวไปไซแนปส์ที่หน่วยปฏิบัติงาน เซลล์ประสาทก่อนปมประสาท 1 เซลล์จะไซแนปส์กับเซลล์ประสาทหลังปมประสาทได้หลายเซลล์ทำให้เกิดการตอบสนองของหน่วยปฏิบัติงานได้มากกว่าหนึ่งหน่วย การทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกมีความเกี่ยวข้องกับการตอบสนองที่เรียกว่า **สู้หรือหนี** (fight-or-flight) ซึ่งจะเกิดขึ้นในสถานการณ์ที่มีความกดดัน หรือ**ความเครียด** (stress) รวมถึงความโกรธ ความวิตกกังวล การตอบสนองดังกล่าวจะทำให้ร่างกายมีความพร้อมต่อสถานการณ์นั้น เช่น เหตุการณ์ไฟไหม้แล้วสามารถยกสิ่งของที่มีน้ำหนักมากและไม่เคยยกได้มาก่อน

ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกส่วนใหญ่จะทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับระบบประสาทซิมพาเทติก ตัวเซลล์ของเซลล์ประสาทก่อนปมประสาทอยู่ที่ก้านสมอง และไขสันหลังบริเวณกระเบนเหน็บ แอกซอนยื่นยาวไปไซแนปส์กับเซลล์ประสาทหลังปมประสาทที่อยู่ใกล้หรือในอวัยวะภายใน แอกซอนของเซลล์ประสาทหลังปมประสาทนี้จะค่อนข้างสั้น เซลล์ประสาทก่อนปมประสาท 1 เซลล์จะไซแนปส์กับเซลล์ประสาทหลังปมประสาทได้จำนวนน้อยและเกิดการตอบสนองของหน่วยปฏิบัติงานได้เพียงหน่วยเดียว ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกส่วนใหญ่จะทำหน้าที่ลดการกระตุ้นการทำงานของหน่วยปฏิบัติงานทำให้ร่างกายกลับเข้าสู่ภาวะปกติ หรือทำให้ร่างกายเกิด**ภาวะพัก** (resting)

? ศูนย์กลางการสั่งการของระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติกอยู่ที่ใดบ้าง

? ถ้าระบบประสาทอัตโนวัติมีแต่ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกที่ควบคุมอวัยวะภายในเพียงระบบเดียวจะมีผลต่อร่างกายอย่างไร

ความรู้เพิ่มเติม

ในปัจจุบันพบว่าการทำงานของทางเดินอาหารยังถูกควบคุมด้วยระบบประสาทอัตโนวัติอีกระบบที่เรียกว่า **ระบบประสาทเอนเทอริก** (enteric nervous system) ซึ่งสามารถควบคุมและสั่งการตอบสนองของกระเพาะอาหารและลำไส้ได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยระบบประสาทส่วนกลาง

สำหรับสารสื่อประสาทที่ใช้สื่อสารระหว่างเซลล์ประสาทก่อนปมประสาทและเซลล์ประสาทหลังปมประสาทของระบบประสาททั้ง 2 ระบบ คือ อะเซทิลโคลีน แต่สารสื่อประสาทที่หลั่งมาจากเซลล์ประสาทหลังปมประสาทที่ควบคุมหน่วยปฏิบัติงานทั้ง 2 ระบบจะต่างกัน ถ้าเป็นระบบประสาทซิมพาเทติกเป็นนอร์เอพิเนฟริน แต่ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกจะเป็นอะเซทิลโคลีน

ตรวจสอบความเข้าใจ

? จงเปรียบเทียบการทำงานและโครงสร้างของระบบประสาทโซมาติก ระบบประสาทซิมพาเทติก และระบบประสาทพาราซิมพาเทติก เช่น หน้าที่ทั่วไป ชนิดการควบคุมหน่วยปฏิบัติงาน ตำแหน่งของตัวเซลล์ประสาทสั่งการ จำนวนเซลล์ประสาทสั่งการ ปมประสาทของเซลล์ประสาทสั่งการที่อยู่นอกระบบประสาทส่วนกลาง สารสื่อประสาทที่หลั่งออกจากปลายแอกซอน

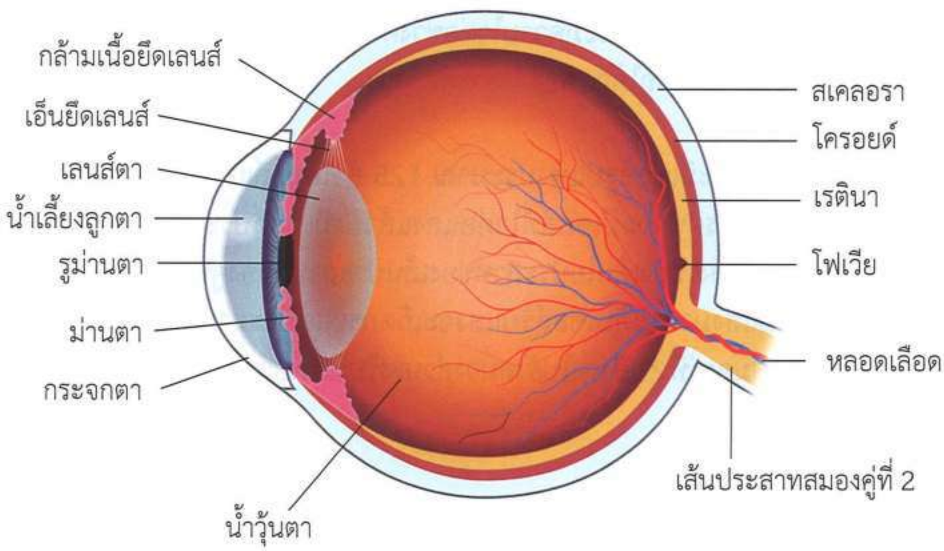
ระบบประสาทเป็นระบบที่ควบคุมและสั่งการการตอบสนองต่าง ๆ ต่อสิ่งเร้าทั้งภายในและภายนอกร่างกาย สัตว์จะมีระบบประสาทเจริญและพัฒนาได้ดีตามวิวัฒนาการและจะเกิดการตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ต้องมีเซลล์รับความรู้สึกที่อาจเป็นเซลล์ประสาทหรือเซลล์เนื้อเยื่อบุผิวที่เปลี่ยนไปเป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่รับความรู้สึกจากสิ่งเร้า ซึ่งเซลล์ประสาทรับความรู้สึกนี้พบได้ในอวัยวะรับความรู้สึกหรือบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย โดยมนุษย์มีอวัยวะรับความรู้สึกที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น และผิวหนัง

18.5 อวัยวะรับความรู้สึก

อวัยวะรับความรู้สึกมีหน่วยรับความรู้สึกที่เมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้นจะส่งกระแสประสาทซึ่งเป็นสัญญาณเคมีไฟฟ้าไปยังเซลล์ประสาทรับความรู้สึกแล้วส่งผ่านเส้นประสาทไปสมอง ปัจจุบันยังไม่ทราบแน่ชัดว่าสมองแปลสัญญาณเหล่านี้อย่างไร แต่การที่สมองแปลความรู้สึกได้แตกต่างกันนั้นเกิดจากสมองมีบริเวณจำเพาะที่ทำหน้าที่รับกระแสประสาทจากอวัยวะรับความรู้สึกชนิดต่าง ๆ กัน **อวัยวะรับความรู้สึกสามารถรับความรู้สึกได้อย่างไร**

18.5.1 ตากับการมองเห็น

ตาของมนุษย์มีรูปร่างค่อนข้างกลมอยู่ภายในเบ้าตา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร ผนังตาเรียงจากด้านนอกเข้าไปด้านใน คือ **สเคลอรา** (sclera) **โครอยด์** (choroid) และ**เรตินา** (retina) ตามลำดับ ดังรูป 18.38



รูป 18.38 โครงสร้างของตา

สเคลอรา เป็นชั้นที่เหนียวแต่ไม่ยืดหยุ่น บริเวณหน้าสุดของชั้นนี้จะโปร่งใสและนูนออกมาเรียกว่า **กระจกตา** (cornea) บริเวณด้านข้างของกระจกตาไปทางด้านหลังจะเห็นเป็นสีขาว กระจกตามีความสำคัญมากเพราะถ้ามีความผิดปกติ เช่น เป็นฝ้าทึบหรือมีแผลที่กระจกตาจะมีผลกระทบต่อการมองเห็น

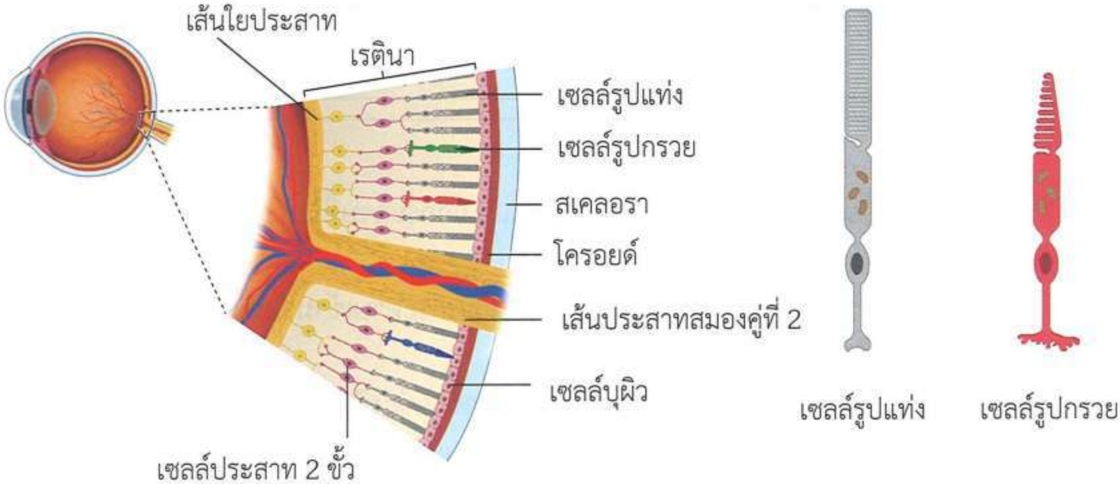
โครอยด์ เป็นชั้นที่มีหลอดเลือดมาเลี้ยงและมีสารสีแผ่กระจายอยู่เป็นจำนวนมาก เพื่อป้องกันไม่ให้แสงสะท้อนไปมาและไม่ให้แสงทะลุผ่านชั้นเรตินาไปยังด้านหลังของตาโดยตรง ด้านหน้าของเลนส์ตามี**ม่านตา** (iris) ยื่นจากผนังโครอยด์คล้ายกับเป็นผนังกั้นบางส่วนของเลนส์ เหลือช่องตรงกลางที่มีลักษณะกลมให้แสงผ่านเข้าเรียกว่า **รูม่านตา** (pupil) ซึ่งมองเห็นเป็นส่วนสีดำอยู่ตรงกลางตา ขนาดของรูม่านตาจะแคบหรือกว้างขึ้นอยู่กับม่านตาซึ่งประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ เมื่อคลายตัวจะทำให้รูม่านตาแคบและเมื่อหดตัวจะทำให้รูม่านตากว้าง ม่านตาจึงควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านเข้าสู่ตา

? ม่านตาเทียบได้กับส่วนใดของกล้องจุลทรรศน์

? เพราะเหตุใดเมื่อเข้าไปในห้องที่มีแสงสลัว ในตอนแรกจะมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้ไม่ชัด แต่สักครู่จะมองเห็นชัดขึ้นทั้ง ๆ ที่ไม่ได้เพิ่มแสงสว่าง

เรตินา หรือจอประสาทตาเป็นบริเวณที่มีเซลล์รับแสงซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามรูปร่างลักษณะของเซลล์ คือ **เซลล์รูปแท่ง** (rod cell) ซึ่งไวต่อการรับแสงแม้ในที่ที่มีแสงน้อย เซลล์ชนิดนี้ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ ส่วนเซลล์อีกชนิดหนึ่งเป็น**เซลล์รูปกรวย** (cone cell) เป็นเซลล์ที่แยกความแตกต่างของสีต่าง ๆ ได้ โดยแต่ละเซลล์จะมีความไวต่อช่วงความยาวคลื่นแสงแตกต่างกัน และต้องมีแสงมากเพียงพอจึงจะบอกสีของวัตถุได้ถูกต้อง

เรตินาในตาแต่ละข้างจะมีเซลล์รูปแท่งประมาณ 125 ล้านเซลล์และเซลล์รูปกรวยประมาณ 6 ล้านเซลล์ นอกจากในชั้นเรตินาจะมีเซลล์ที่ไวต่อแสงแล้วยังมีเซลล์ประสาทอื่นอีกที่รับกระแสประสาทจากเซลล์รับแสงแล้วส่งไปยังเส้นใยประสาทของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 ซึ่งอยู่รวมกันเป็นมัด ดังรูป 18.39 ดังนั้นเมื่อมีแสงมากระตุ้นเซลล์รับแสงจะเกิดกระแสประสาทและถ่ายทอดสัญญาณดังกล่าวไปยังเส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 แล้วส่งไปยังสมองส่วนเซรีบรัมเพื่อแปลเป็นภาพตามที่ตามองเห็น



รูป 18.39 โครงสร้างและตำแหน่งของเซลล์ในชั้นเรตินา

แต่ละบริเวณของเรตินาสามารถเห็นภาพชัดเจนเท่ากันทุกจุดหรือไม่ สามารถทดสอบได้จากกิจกรรม 18.1

กิจกรรม 18.1 การหาตำแหน่งของจุดบอดและโฟเวีย

จุดประสงค์

สังเกตและอธิบายการหาตำแหน่งของจุดบอดและโฟเวีย

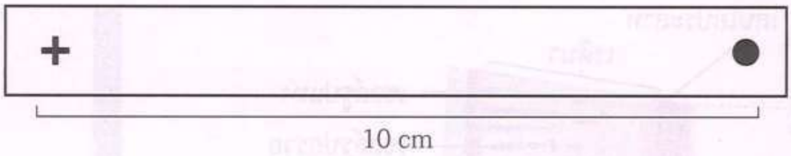
วัสดุและอุปกรณ์

1. กระดาษขาว
2. ปากกาที่มีสีสด
3. ไม้บรรทัด

วิธีการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1 การหาตำแหน่งของจุดบอด

1. ตัดกระดาษขาวขนาดกว้าง 3 cm ยาว 13 cm ทำเครื่องหมาย + และ • ลงในกระดาษขาวในแนวระดับ ให้มีระยะห่างระหว่างเครื่องหมายทั้งสองนี้ 10 cm



2. หลับตาซ้ายเหยียดมือขวาที่จับกระดาษให้ตรง และยกกระดาษที่มีเครื่องหมาย + ตรงกับตาขวา
3. ให้ตาขวาจ้องเครื่องหมาย + ตลอดเวลา ค่อย ๆ เลื่อนกระดาษเข้ามาใกล้ตาอย่างช้า ๆ จนกระทั่งมองไม่เห็นเครื่องหมาย •
4. ทดลองซ้ำตามข้อ 2 และ 3 แต่หลับตาขวาและให้ตาซ้ายจ้องที่เครื่องหมาย • ค่อย ๆ เลื่อนกระดาษเข้ามาใกล้ตาอย่างช้า ๆ จนกระทั่งมองไม่เห็นเครื่องหมาย +

คำถามท้ายกิจกรรม

? เพราะเหตุใดเมื่อหลับตาซ้ายจึงมองไม่เห็นเครื่องหมาย • ทั้ง ๆ ที่ยังมีเครื่องหมายอยู่

? จากการทำกิจกรรมบอกได้หรือไม่ว่าจุดที่ตามองไม่เห็นอยู่เยื้องไปทางใดของตา

ตอนที่ 2 การหาตำแหน่งของโฟเวีย

1. มองตรงไปข้างหน้า ยื่นแขนไปข้างหลังขนานกับพื้น
2. รับวัตถุที่มีสีสดจากเพื่อน เช่น ดินสอ ปากกา โดยผู้รับไม่ทราบมาก่อนว่าวัตถุนั้นมีสีอะไร
3. เลื่อนแขนมาข้างหน้าให้อยู่ในระดับสายตาอย่างช้า ๆ โดยต้องมองตรงไปข้างหน้าตลอดเวลา ห้ามเหลือบมองวัตถุในมือ เมื่อเริ่มเห็นวัตถุให้บอกสีของวัตถุนั้นโดยยังไม่หันไปมอง จากนั้นเลื่อนวัตถุต่อไปอีกจนถึงตำแหน่งที่สามารถบอกสีของวัตถุได้ชัดเจน
4. บันทึกตำแหน่งเป็นองศาโดยอ้างอิงจากตำแหน่งแขนในแนวเดียวกับลำตัวและขนานกับพื้น

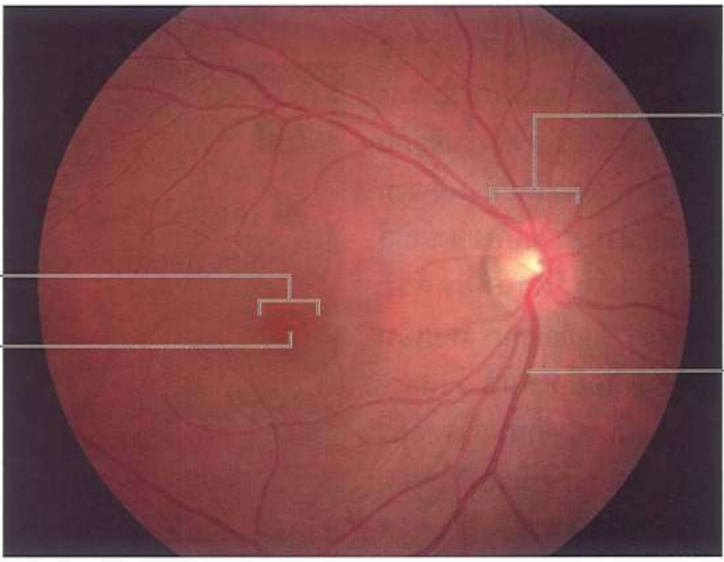


คำถามท้ายกิจกรรม

? สามารถบอกสีของวัตถุได้ถูกต้องเมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งใด

? เพราะเหตุใดเมื่อเริ่มเห็นวัตถุจึงไม่สามารถบอกสีได้ถูกต้อง

โดยปกติแล้วในชั้นเรตินาจะมีเซลล์รูปแท่งหนาแน่นกว่าเซลล์รูปกรวย บริเวณของเรตินาที่เรียกว่า **โฟเวีย** (fovea) จะมีเซลล์รูปกรวยหนาแน่นกว่าบริเวณอื่น รอบโฟเวียจะเป็นบริเวณที่เรียกว่าจุดภาพชัด ดังนั้นแสงที่ตกบริเวณนี้จึงเกิดเป็นภาพได้ชัดเจน ส่วนบริเวณของเรตินาที่มีแต่แอกซอนออกจากตาเพื่อเข้าสู่เส้นประสาทตาหรือเส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 จะไม่มีเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวย ดังนั้นแสงที่ตกบริเวณนี้จึงไม่เกิดเป็นภาพ เรียกบริเวณนี้ว่า **จุดบอด** (blind spot) หรือ**จานประสาทตา** (optic disc) และเป็นทางออกของหลอดเลือดด้วย ดังรูป 18.40



รูป 18.40 เรตินา

เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน

ผู้ขับรถยนต์หรือขี่รถจักรยานยนต์จะมองเห็นรถคันอื่นในบางตำแหน่งไม่ชัดเจน เช่น ด้านข้างและด้านหลัง เมื่อต้องการเปลี่ยนช่องเดินรถหรือต้องการชะลอความเร็วต้องใช้กระจกมองข้าง ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจากด้านข้างและด้านหลังของรถเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่



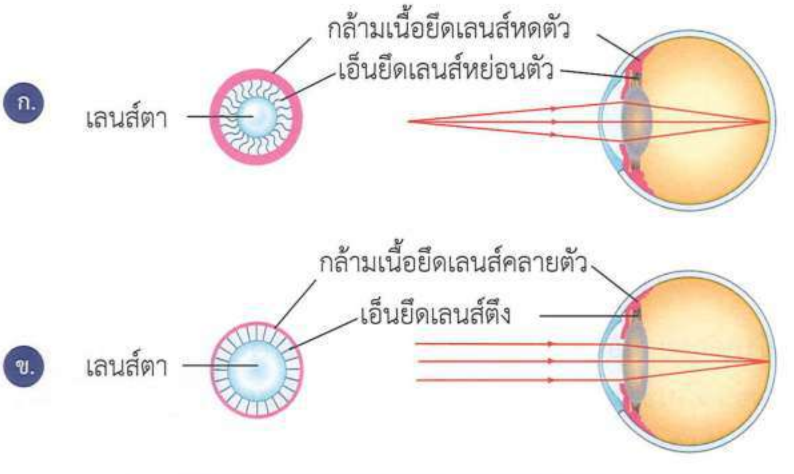
เลนส์ตา (lens) เป็นเลนส์นูนอยู่ค่อนมาทางด้านหน้าของตา ถัดจากกระจกตาเข้าไปเล็กน้อย เลนส์ตามีลักษณะใสและกั้นตาเป็น 2 ส่วน คือช่องหน้าเลนส์และช่องหลังเลนส์ ช่องหน้าเลนส์มีน้ำเลี้ยงลูกตาที่ทำให้ความดันตาเป็นปกติ และทำหน้าที่ลำเลียงสารอาหารและแก๊สออกซิเจนแก่กระจกตา ส่วนน้ำวุ้นตาที่อยู่ในช่องหลังเลนส์ช่วยให้ลูกตาคงรูปอยู่ได้

? ถ้าน้ำเลี้ยงลูกตามีความดันมากกว่าปกติจะมีผลต่อสุขภาพของตาอย่างไร

ในการเกิดภาพ แสงจากวัตถุผ่านเข้าสู่กระจกตาโดยมีเลนส์ตาทำหน้าที่รวมแสง ทำให้แสงตกลงบนเรตินา ดังนั้นการหักเหของแสงจึงขึ้นอยู่กับความโค้งของกระจกตาและเลนส์ตา โดยทั่วไปความโค้งของกระจกตาคงที่เสมอ ส่วนความโค้งของเลนส์ตาอาจเปลี่ยนแปลงได้ เลนส์ตาถูกยึดด้วย **เอ็นยึดเลนส์** (suspensory ligament) โดยเอ็นดังกล่าวจะอยู่ติดกับ**กล้ามเนื้อยึดเลนส์** (ciliary muscle) ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน ดังนั้นการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อยึดเลนส์ จึงมีผลทำให้เอ็นยึดเลนส์หย่อนหรือตึงได้ ดังรูป 18.41

ชวนคิด

? โดยทั่วไปจะมีข้อแนะนำให้ใส่คอนแทคเลนส์ติดต่อกันไม่เกิน 8 ชั่วโมง ถ้าใส่คอนแทคเลนส์เป็นระยะเวลานานกว่านั้นหรือใส่ขณะนอนหลับ จะเกิดผลอย่างไร



ipst.me/10796

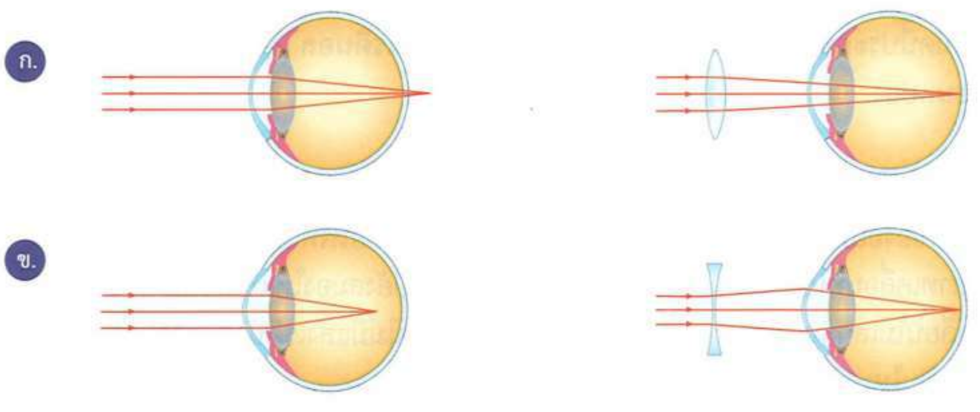
รูป 18.41 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเลนส์ตา
ก. วัตถุอยู่ใกล้ เลนส์ตาโค้งนูนมาก ข. วัตถุอยู่ไกล เลนส์ตาโค้งนูนน้อย

? เพราะเหตุใดเวลาอ่านหนังสือนาน ๆ จึงรู้สึกเมื่อยตา แต่ถ้ามองทิวทัศน์ที่อยู่ไกลจะมองได้นานกว่า

ถ้ากล้ามเนื้อยึดเลนส์หดตัว เอ็นยึดเลนส์หย่อนลงทำให้เลนส์โป่งออก ผิวของเลนส์จึงโค้งนูนมากขึ้น ทำให้จุดโฟกัสใกล้เลนส์มากขึ้น จึงเหมาะสำหรับการมองภาพในระยะใกล้ ถ้าวัตถุนั้นอยู่ไกล เลนส์ตาจะโค้งนูนน้อยลง ซึ่งเกิดจากการคลายตัวของกล้ามเนื้อยึดเลนส์ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเลนส์จะทำให้ภาพตกที่เรตินาพอดี **ถ้าภาพไม่ตกที่เรตินา การมองเห็นจะเป็นอย่างไร**

โดยทั่วไปเมื่ออายุประมาณ 40 ปี เลนส์ตาจะสูญเสียความยืดหยุ่นรวมทั้งกล้ามเนื้อยึดเลนส์จะเสื่อมไปตามวัย ทำให้ไม่สามารถหดตัวทำให้เลนส์โป่งออกเพื่อให้ผิวเลนส์โค้งนูนมากขึ้นได้ ทำให้มองภาพใกล้ไม่ชัดเจน เนื่องจากภาพตกที่หลังเรตินาทำให้เกิดสายตายาว แต่ยังคงเห็นภาพที่อยู่ไกลได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามสามารถพบภาวะสายตายาวได้แม้ว่าจะยังไม่สูงวัย ซึ่งอาจมีสาเหตุเกิดจากกระจกตามีความโค้งน้อยกว่าปกติหรือกระบอกตาสั้นกว่าปกติ สามารถแก้ไขสายตายาวได้โดยใช้แว่นตาที่มีเลนส์นูน จะทำให้ภาพตกที่เรตินาพอดี ดังรูป 18.42 ก.

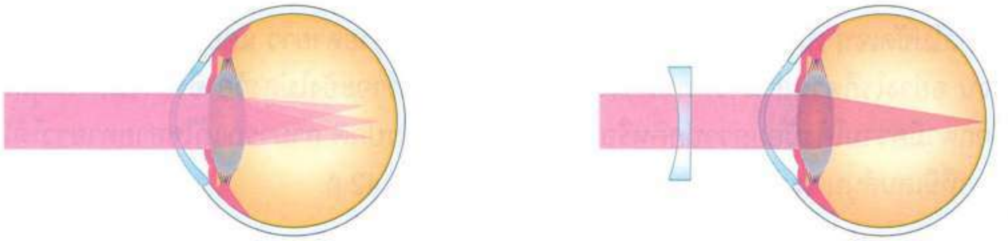
ในคนอายุไม่มากบางคนอาจมองภาพที่อยู่ไกลไม่ชัดเจน เนื่องจากแสงไม่สามารถมาตกกระทบโดยตรงที่เรตินาได้ แต่จะตกก่อนถึงเรตินาทำให้เกิดสายตาสั้น ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากกระจกตาโค้งมากกว่าปกติ หรือกระบอกตามีขนาดยาวกว่าปกติสามารถแก้ไขได้โดยใช้แว่นตาที่มีเลนส์เว้า ดังรูป 18.42 ข.



รูป 18.42 การแก้ไขสายตาโดยการใช้เลนส์
ก. การแก้สายตายาวโดยใช้เลนส์นูน ข. การแก้สายตาสั้นโดยใช้เลนส์เว้า

? เพราะเหตุใดในผู้สูงอายุที่สายตายาว จึงมองวัตถุที่อยู่ไกลได้ชัดเจน แต่มองเห็นวัตถุใกล้ไม่ชัดเจน

คนสายตาสั้นและสายตายาวจะเห็นภาพทั้งภาพไม่ชัดเจน แต่ในกรณีที่เห็นเส้นในแนวใดแนวหนึ่งไม่ชัดเจนแต่ส่วนอื่น ๆ เห็นได้ชัดเจน เนื่องจากภาพจะตกที่เรตินามากกว่า 1 จุด ซึ่งเกิดจากความโค้งของกระจกตาในแนวต่าง ๆ ไม่เท่ากันเรียกว่า สายตาเอียง แก้ไขได้โดยใช้เลนส์ทรงกระบอก ดังรูป 18.43 สายตาเอียงอาจเกิดร่วมกับภาวะสายตายาวหรือสายตาสั้นได้



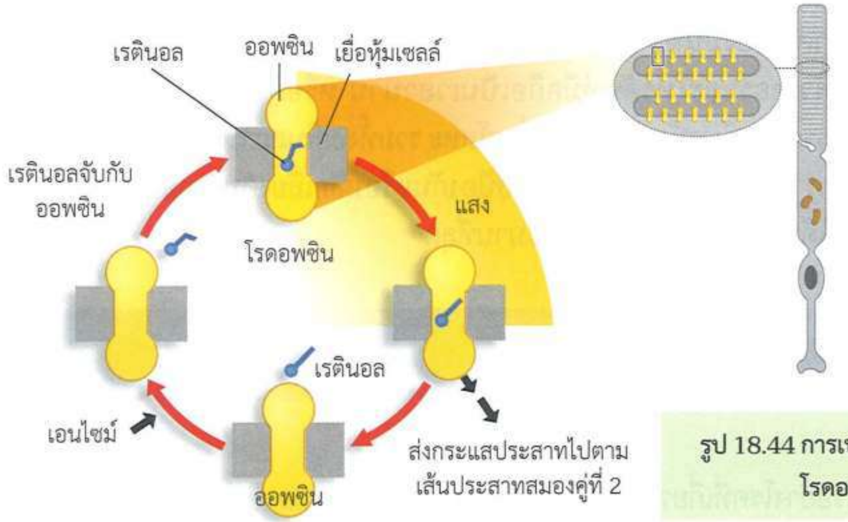
รูป 18.43 การแก้ไขสายตาเอียงโดยใช้เลนส์ทรงกระบอก

กลไกการมองเห็น

เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์รูปแท่งจะมีสารสีม่วงแดงที่เรียกว่า **โรดอพซิน** (rhodopsin) ฝังตัวอยู่ สารชนิดนี้ประกอบด้วยโปรตีน**ออพซิน** (opsin) รวมกับ**เรตินอล** (retinol) ซึ่งไวต่อแสงและจะมีการเปลี่ยนแปลง

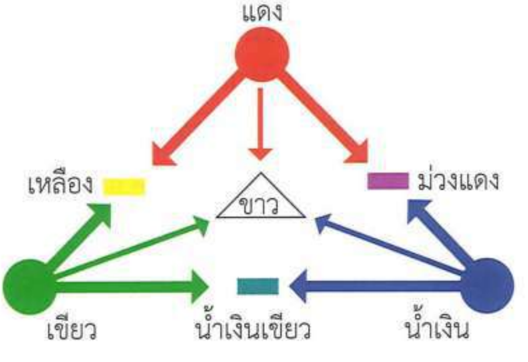
เมื่อมีแสงมากระตุ้นเซลล์รูปแท่ง โมเลกุลของเรตินอลจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจนเกาะกับโมเลกุลของออพซินไม่ได้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์จนนำไปสู่การเกิดกระแสประสาทเคลื่อนที่ไปตามเส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 เพื่อส่งไปยังสมองให้แปลเป็นภาพ จากนั้นจะมีเอนไซม์มาเปลี่ยนโมเลกุลของเรตินอลให้มีรูปร่างเหมือนเดิม เมื่อไม่มีแสงเรตินอลจะรวมตัวกับออพซินได้เป็นโรดอพซินใหม่ ดังรูป 18.44

เรตินอลเป็นสารที่ร่างกายสังเคราะห์ขึ้นจากวิตามินเอ ถ้าร่างกายขาดวิตามินเอจะทำให้เกิดโรคตาฟาง ทำให้มองเห็นไม่ชัดเจนในช่วงเวลาที่มีแสงสว่างน้อย เช่น ตอนพลบค่ำ



รูป 18.44 การเปลี่ยนแปลงโรดอพซินในเซลล์รูปแท่ง

เซลล์รูปกรวยแบ่งตามความไวต่อช่วงความยาวคลื่นแสงได้ 3 ชนิด คือ เซลล์รูปกรวยที่ไวต่อแสงสีน้ำเงิน เซลล์รูปกรวยที่ไวต่อแสงสีแดง และเซลล์รูปกรวยที่ไวต่อแสงสีเขียว การที่สมองสามารถแยกสีต่าง ๆ ได้มากกว่า 3 สี เพราะมีการกระตุ้นเซลล์รูปกรวยแต่ละชนิดพร้อม ๆ กันด้วยความเข้มของแสงสีต่างกัน จึงเกิดการผสมของแสงสีต่าง ๆ ขึ้น เช่น ขณะมองวัตถุสีเหลือง เซลล์รูปกรวยที่ไวต่อแสงสีแดงและเซลล์รูปกรวยที่ไวต่อแสงสีเขียวจะถูกกระตุ้นพร้อมกัน ทำให้เห็นวัตถุนั้นเป็นสีเหลือง ดังรูป 18.45



รูป 18.45 การมองเห็นแสงสีต่าง ๆ

ความบกพร่องของเซลล์รูปกรวยที่ไวต่อแสงสีใดก็ตาม จะทำให้เกิดอาการตาบอดสีขึ้น ดังนั้นตาบอดสีจึงเป็นลักษณะที่เกี่ยวกับความบกพร่องในการแยกความแตกต่างของสี ตาบอดสีที่พบมากที่สุดคือ ตาบอดสีเขียว-แดง อย่างไรก็ตามตาบอดสียังไม่จัดเป็นความผิดปกติร้ายแรง แต่เป็นลักษณะที่ถ่ายทอดได้ทางพันธุกรรมและพบในเพศชายมากกว่าเพศหญิง

ตรวจสอบความเข้าใจ

? ภาพที่ผ่านเลนส์ตาและตกลงที่เรตินาจะเป็นภาพจริงหัวกลับ เพราะเหตุใดจึงมองเป็นภาพหัวตั้งได้

ตาเป็นอวัยวะที่สำคัญของมนุษย์ จึงควรถนอมตาไว้ให้ดี โดยเฉพาะผู้ที่ทำงานที่ใช้สายตามาก ๆ เช่น ผู้ที่ใช้คอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือเป็นเวลานาน หรือผู้ที่ทำงานบางประเภทที่ใช้แสงจ้ามาก ๆ เช่น พิธีกรรายการโทรทัศน์และช่างเชื่อมโลหะ รวมทั้งอยู่ในสถานบันเทิงที่มีไฟกะพริบอยู่ตลอดเวลาซึ่งเป็นอันตรายต่อตา ดังนั้นจึงควรหาวิธีป้องกันหรือหลีกเลี่ยงอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับตาเพื่อถนอมตาไว้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและนานที่สุด

กิจกรรม 18.2 ความรู้เกี่ยวกับโรคตา

จุดประสงค์

สืบค้นและยกตัวอย่างโรคที่เกี่ยวข้องกับตา บอกแนวทางในการดูแล ป้องกัน และรักษาตา

วิธีการทำกิจกรรม

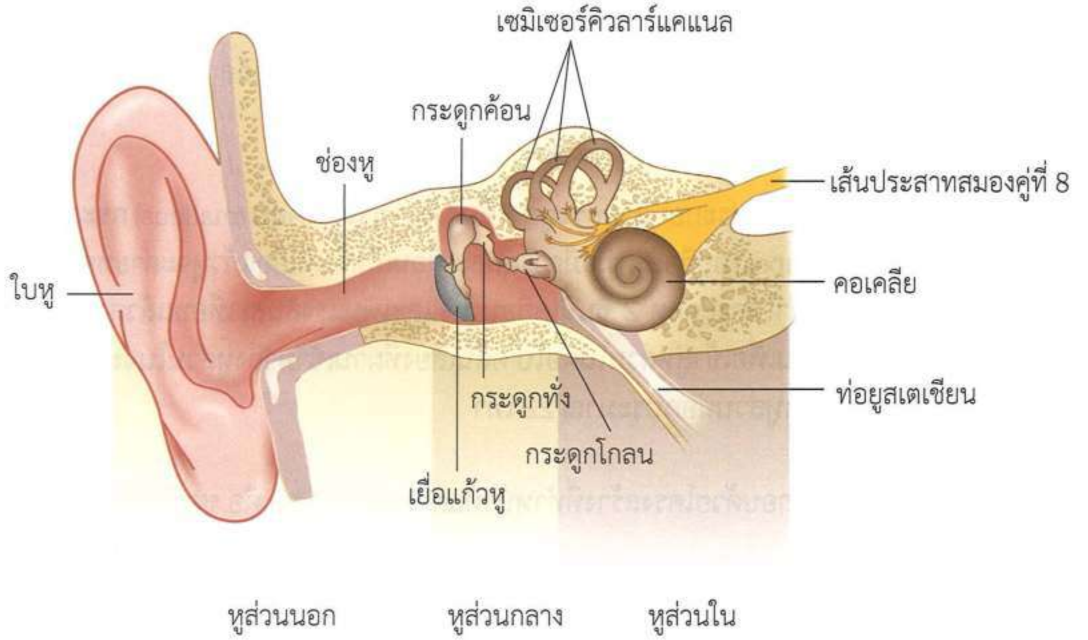
ค้นคว้าโรคเกี่ยวกับตาหรือความผิดปกติเกี่ยวกับตา เช่น ตาแดง ตากุ้งยิง กระจกตาเสื่อม เรตินาเสื่อม และต้อ พร้อมทั้งบอกแนวทางในการดูแล ป้องกัน และรักษา แล้วจัดทำและนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ เช่น infographic แผ่นพับ ป้ายนิเทศ หรือนำเสนอหน้าชั้นเรียน

รู้หรือไม่

“มอบดวงตาเมื่อไม่ได้ใช้แล้วให้กับผู้ป่วยที่รอรับบริจาค” ถ้ามีอาการกระจกตาขุ่น มัว บวม ผิดรูปร่าง หรือกระจกตาพิการ จะทำให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นลดลง กระจกตาสามารถทำการผ่าตัดเปลี่ยนได้ แต่ต้องได้รับกระจกตามาจากผู้บริจาคที่เสียชีวิตแล้วและต้องรีบจัดเก็บดวงตาภายใน 6 ชั่วโมง การจัดเก็บเพื่อใช้ในการผ่าตัดเปลี่ยนกระจกตานั้นยังไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้ป่วยที่ขึ้นทะเบียนรอรับบริจาค ผู้ป่วยต้องใช้เวลาในการรอคอยนาน 3-4 ปี ผู้ที่มีความประสงค์จะแสดงความจำนงบริจาคดวงตา สามารถลงทะเบียนบริจาคดวงตาได้ที่ศูนย์ดวงตาสภากาชาดไทยชั้น 7 อาคารเทิดพระเกียรติสมเด็จพระญาณสังวร (เจริญ สุวฑฺฒโน) ถนนอังรีดูนังต์ แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร หรือเว็บไซต์ www.eyebankthai.com หรือ http://eyebank.redcross.or.th/eyebankthai/donationwebsite

18.5.2 หูกับการได้ยิน

หูเป็นอวัยวะรับความรู้สึกที่ทำหน้าที่ทั้งการได้ยินเสียงและการทรงตัว หูของมนุษย์แบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ หูส่วนนอก หูส่วนกลาง และหูส่วนใน ดังรูป 18.46



รูป 18.46 โครงสร้างภายในของหู

หูส่วนนอก ประกอบด้วยใบหูและช่องหูซึ่งนำไปสู่หูส่วนกลาง ใบหูมีกระดูกอ่อนค้ำจุนอยู่ ภายในช่องหูมีต่อมสร้างไขมาเคลือบไว้ ทำให้ผนังช่องหูไม่แห้งและป้องกันอันตรายไม่ให้แมลงและฝุ่นละอองเข้าสู่ภายใน รวมทั้งต้านการติดเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ เมื่อมีมากจะสะสมกลายเป็นขี้หูซึ่งจะหลุดออกมาเอง จึงไม่ควรแคะหูเพราะอาจเป็นอันตรายทำให้เยื่อแก้วหูขาดและกลายเป็นคนหูหนวก

ตรงรอยต่อระหว่างหูส่วนนอกกับหูส่วนกลาง มีเยื่อบาง ๆ กั้นอยู่เรียกว่า **เยื่อแก้วหู** (ear drum หรือ tympanic membrane) ซึ่งสามารถสั่นได้เมื่อได้รับคลื่นเสียงเช่นเดียวกับหนังหน้ากลองเมื่อถูกตี หูส่วนนอกจึงทำหน้าที่รับคลื่นเสียงและเป็นช่องให้คลื่นเสียงผ่าน

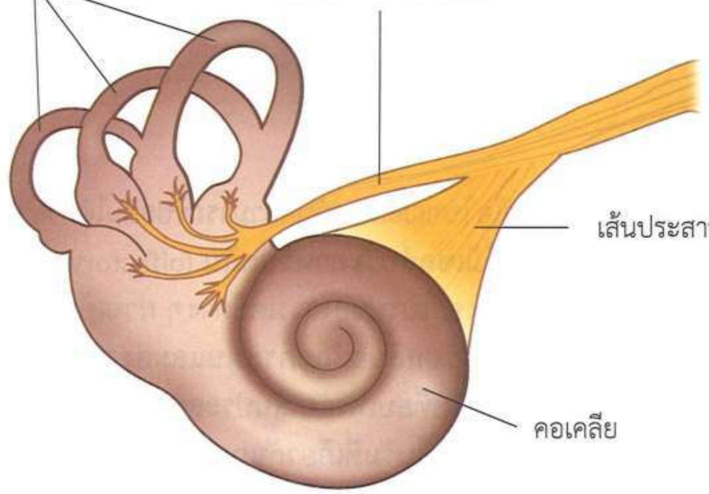
หูส่วนกลาง มีลักษณะเป็นโพรงติดต่อกับโพรงจมูกและมีท่อติดต่อกับคอหอย ท่อนี้เรียกว่า **ท่อยูสเตเชียน** (eustachian tube) ปกติท่อนี้จะตีบแต่ในขณะเคี้ยวหรือกลืนอาหารท่อนี้จะขยับเปิดเพื่อปรับความดัน 2 ด้านของเยื่อแก้วหูให้เท่ากัน ถ้าความดันอากาศภายนอกลดลงหรือสูงกว่าความดันในหูส่วนกลางอย่างรวดเร็ว ความแตกต่างระหว่างความดันอากาศภายนอกและภายในหูส่วนกลางอาจทำให้เยื่อแก้วหูถูกดันให้โป่งออกหรือถูกดันเข้าไปทำให้การสั่นและการนำเสียงของเยื่อแก้วหูลดลงจะรู้สึกว่าหูอื้อหรือปวดหู จึงมีการปรับความดันในช่องหูส่วนกลางโดยผ่านแรงดันอากาศบางส่วนไปทางท่อยูสเตเชียน

ภายในหูส่วนกลางประกอบด้วยกระดูก 3 ชิ้น ได้แก่ **กระดูกค้อน** (malleus) **กระดูกทั่ง** (incus) และ**กระดูกโกลน** (stapes) อยู่ชิดกัน เมื่อมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นที่เยื่อแก้วหูจะถ่ายทอดมายังกระดูกค้อนและกระดูกทั่ง ทำให้กระดูกหู 2 ชิ้นนี้เคลื่อนไหวและเพิ่มแรงสั่นสะเทือนแล้วส่งแรงสั่นสะเทือนนี้ต่อไปยังกระดูกโกลนเพื่อเข้าสู่หูส่วนในต่อไป คลื่นเสียงที่ผ่านเข้ามาถึงหูส่วนในจะขยายแอมพลิจูดของคลื่นเสียงเพิ่มจากหูส่วนนอกประมาณ 22 เท่า

หูส่วนใน ประกอบด้วยโครงสร้างที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน 2 ชุด คือ ชุดที่ใช้รับเสียงและชุดที่ใช้รับรู้การทรงตัว

- **ชุดที่ใช้รับเสียง** อยู่ทางด้านหน้าของหูส่วนในมีลักษณะเป็นท่อที่ม้วนตัวลักษณะคล้ายก้นหอย เรียกว่า **คอเคลีย** (cochlea) ภายในมีของเหลวบรรจุอยู่ เมื่อคลื่นเสียงผ่านเข้ามาจนถึงคอเคลียจะทำให้ของเหลวภายในคอเคลียสั่นสะเทือนและเกิดการกระตุ้นเซลล์รับเสียงให้เกิดกระแสประสาทและส่งไปยัง**เส้นประสาทรับเสียง** (auditory nerve) หรือ **เส้นประสาทจากคอเคลีย** (cochlea nerve) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 เพื่อเข้าไปสู่สมองส่วนเซรีบรัมที่เป็นศูนย์ควบคุมการรับเสียงเพื่อจะแปลผลต่อไป
- **ชุดที่ใช้รับรู้การทรงตัว** อยู่ด้านหลังของหูส่วนในทำหน้าที่รับรู้เกี่ยวกับการเอียงและการหมุนของศีรษะตลอดจนการทรงตัวของร่างกาย มีลักษณะเป็นหลอดครึ่งวงกลม 3 หลอดวางตั้งฉากกันเรียกว่า **เซมิเซอร์คิวลาร์แคแนล** (semicircular canal) ภายในหลอดมีของเหลวบรรจุอยู่ ที่โคนหลอดมีส่วนโป่งพองออกมาเรียกว่า **แอมพูลลา** (ampulla) ภายในมี**เซลล์ขน** (hair cell) ทำหน้าที่รับความรู้สึกซึ่งไวต่อการไหลของของเหลวภายในหลอดที่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของศีรษะและทิศทางการทรงตัวของร่างกาย

ขณะที่ร่างกายเคลื่อนไหวจะกระตุ้นเซลล์ที่ทำหน้าที่รับรู้เกี่ยวกับการทรงตัวให้ส่งกระแสประสาทไปตามเส้นประสาทที่ออกจากเซมิเซอร์คิวลาร์แคแนลไปรวมกับเส้นประสาทจากคอเคลียและออกไปรวมกันเป็นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 ดังรูป 18.47 เพื่อนำกระแสประสาทไปยังสมองส่วนเซรีเบลลัมต่อไป เพื่อให้สมองรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของศีรษะและสั่งการให้เกิดการทรงตัวในตำแหน่งที่เหมาะสม



รูป 18.47 เซมิเซอร์คิวลาร์แคแนลและคอเคลีย

รู้หรือไม่

หูของคนปกติสามารถรับฟังเสียงที่มีความถี่ของคลื่นเสียงตั้งแต่ 20-20,000 เฮิร์ตซ์ ขณะที่สัตว์บางชนิด เช่น สุนัขสามารถรับคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ หูของค้างคาวสามารถรับคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงมาก

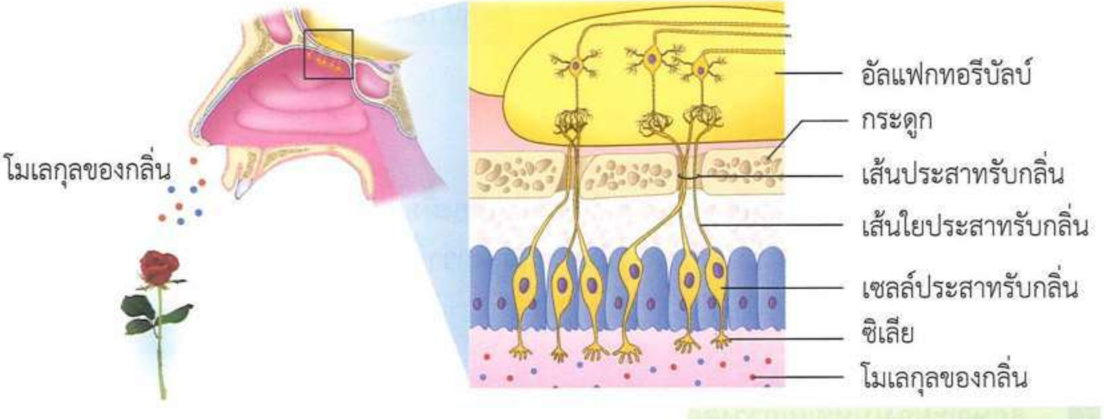
- ? ลักษณะของใบหูที่แผ่กว้างติดต่อกับช่องหูที่เป็นท่อยาวไปจรดเยื่อแก้วหูนั้น มีส่วนช่วยในการได้ยินหรือไม่ อย่างไร
- ? มีสิ่งใดหรือเหตุการณ์ใดบ้างที่ทำให้หูอื้อหรือปวดหูได้
- ? ถ้าหมุนตัวหลาย ๆ รอบ แล้วจะยืนตรงได้ทันทีหรือไม่ เพราะเหตุใด
- ? หากได้ยินเสียงดังมากติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ จะมีผลต่อการรับฟังอย่างไร

รู้หรือไม่

อาการเวียนศีรษะหรือรู้สึกว่าบ้านหมุนเป็นอาการที่พบบ่อย ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น โรคที่มีความผิดปกติของหูส่วนใน โดยมีน้ำในหูส่วนในมากผิดปกติหรือที่เรียกว่า โรคน้ำในหูไม่เท่ากัน ในภาวะปกติจะมีน้ำในหูส่วนในปริมาณที่พอดีกับการทำงานของเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่ควบคุมการทรงตัวและการได้ยิน ถ้ามีความผิดปกติของการไหลเวียนของน้ำในหู จะส่งผลต่อการทำงานของเซลล์ประสาทที่ควบคุมการทรงตัวและการได้ยิน ทำให้เซลล์ดังกล่าวทำงานผิดปกติ ส่งผลให้เกิดอาการดังกล่าวได้

18.5.3 จมูกกับการดมกลิ่น

จมูกเป็นอวัยวะที่ใช้ในการหายใจ ในขณะเดียวกันก็สามารถรับกลิ่นได้ด้วย ภายในโพรงจมูกมี**เยื่อบุจมูก** (olfactory membrane) ที่มี**เซลล์ประสาทรับกลิ่น** (olfactory neuron) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับกลิ่นโดยเฉพาะ เมื่อกลิ่นซึ่งอยู่ในรูปของสารเคมีต่าง ๆ ผ่านเข้าไปทางช่องจมูกหรือระเหยผ่านคอหอยขึ้นมา เซลล์ประสาทรับกลิ่นจะถูกกระตุ้นและส่งกระแสประสาทไปตาม**เส้นประสาทรับกลิ่น** (olfactory nerve) ซึ่งเทียบเท่ากับเส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 ไปยังสมองส่วนอัลแฟกทอรีบัลบ์เพื่อส่งต่อไปยังสมองส่วนเซรีบรัมที่เกี่ยวกับการดมกลิ่นทำให้สามารถบอกได้ว่าเป็นกลิ่นใด ดังรูป 18.48

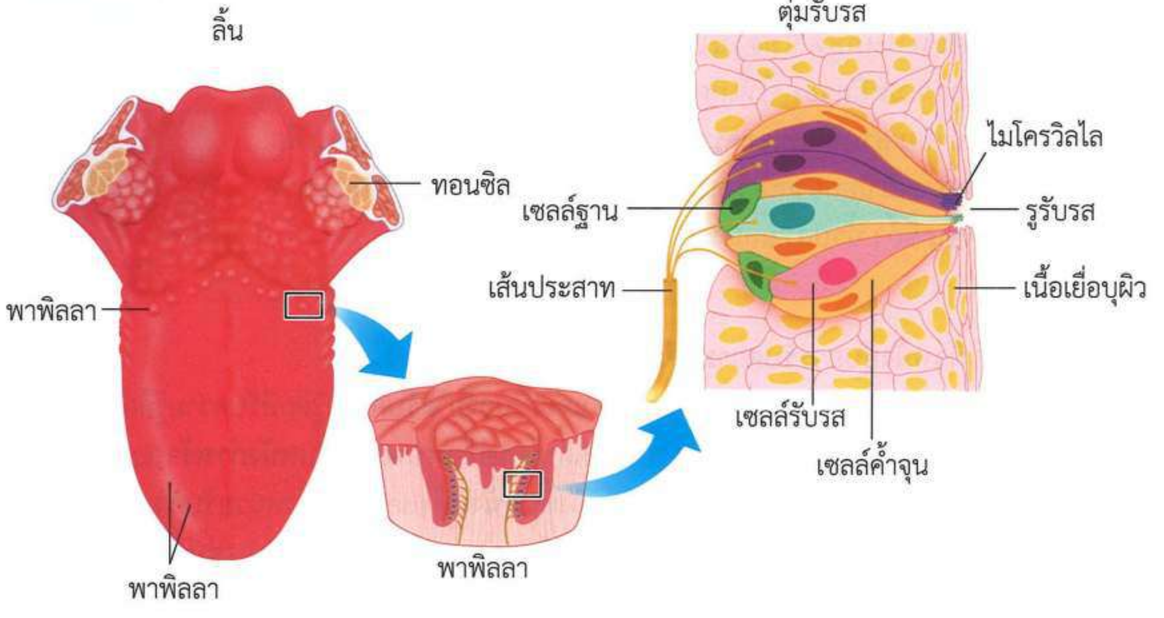


รูป 18.48 โครงสร้างภายในของจมูก

? สุนัขมีศูนย์ควบคุมการรับกลิ่นที่ดีมาก มนุษย์ใช้ประโยชน์จากความสามารถของสุนัขในเรื่องนี้ด้านใดบ้าง

18.5.4 ลิ้นกับการรับรส

ด้านบนของผิวลิ้นจะมีปุ่มเล็ก ๆ มากมาย ปุ่มเหล่านี้ คือ **พาพิลลา** (papilla) ซึ่งบางพาพิลลามี**ตุ่มรับรส** (taste bud) หลายตุ่มทำหน้าที่รับรส ดังรูป 18.49



รูป 18.49 โครงสร้างของลิ้น พาพิลลา และตุ่มรับรส

ภายในแต่ละตุ่มรับรสจะมี**เซลล์รับรส** (taste cell หรือ gustatory cell) ซึ่งต่อกับเส้นใยประสาท เมื่อเซลล์รับรสได้รับการกระตุ้นโดยสารเคมีที่อยู่ในอาหารจะเกิดกระแสประสาทส่งไปตามเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 และเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 ไปยังศูนย์รับรสที่เซรีบรัมเพื่อให้สมองส่วนนี้แปลผลว่าเป็นรสอะไร การรับรสเป็นการผสมผสานของรสพื้นฐาน 5 รส คือ รสหวาน รสขม รสเปรี้ยว รสเค็ม และรสอร่อยหรือ**อูมามิ** (umami) ซึ่งการรับรสทั้ง 5 รส สามารถรับได้ทั่วไปตลอดลิ้น ตุ่มรับรสแต่ละตุ่มประกอบด้วยเซลล์รับรสชนิดต่าง ๆ โดยเซลล์รับรสบางเซลล์อาจรับรสได้มากกว่า 1 รส

การที่มนุษย์รับความรู้สึกเกี่ยวกับอาหารนั้น มีอวัยวะหลายส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น ถ้าดื่มน้ำมะนาว จะรู้สึกเปรี้ยวได้จากตุ่มรับรสบนลิ้น ได้กลิ่นมะนาวจากการรับกลิ่นในจมูก มองเห็นสีของน้ำมะนาวด้วยตา และยังรู้สึกร้อนหรือเย็นแล้วแต่ชนิดของเครื่องดื่มที่ดื่มอีกด้วย

? เพราะเหตุใดในช่วงที่เป็นไข้หวัดจึงรับประทานอาหารได้ไม่อร่อย

รู้หรือไม่

รสอูมามิหรือรสอร่อยเป็นรสชาติของกลูตาเมตอิสระ เมื่อโปรตีนเสียสภาพจากกระบวนการต่าง ๆ เช่น การหมัก การบ่ม หรือได้รับความร้อน จะทำให้กลูตาเมตในโปรตีนเกิดการสลายตัวแยกออกมาเป็นกลูตาเมตอิสระทำให้เกิดรสอูมามิในอาหาร ชาวญี่ปุ่นนิยมใช้วัตถุดิบ เช่น สาหร่ายทะเลคมบุและปลาโอแห้ง ในการปรุงอาหารเพื่อให้ได้รสอูมามิ นอกจากนี้กลูตาเมตอิสระยังพบในเครื่องปรุงที่ผ่านการหมัก เช่น ซีอิ๊ว น้ำปลา และกะปิ



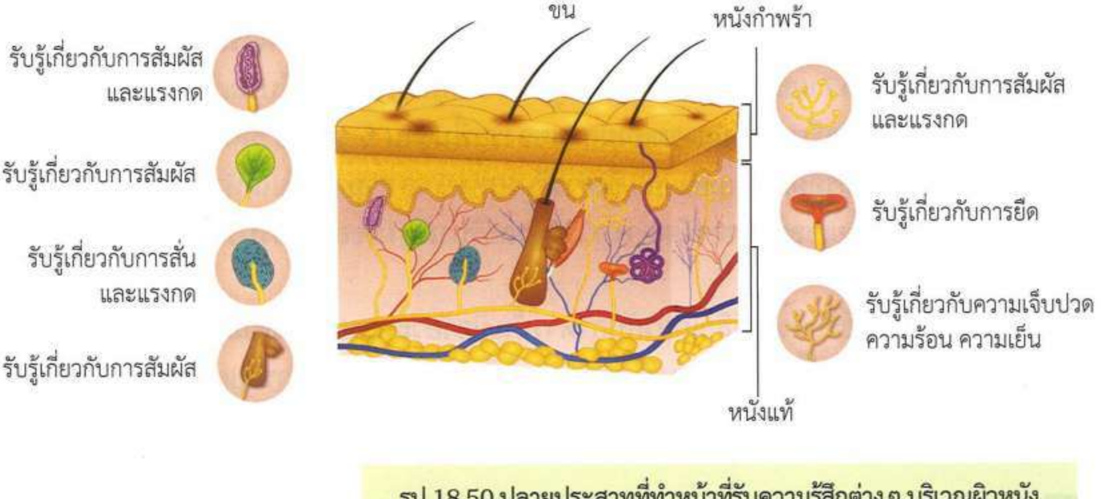
สาหร่ายคมบุ



ปลาโอแห้ง

18.5.5 ผิวหนังกับการรับความรู้สึก

ผิวหนังเป็นอวัยวะที่ห่อหุ้มร่างกาย และเป็นอวัยวะรับความรู้สึกที่รับความรู้สึกได้หลากหลาย ผิวหนังมีหน่วยรับความรู้สึกที่ปลายประสาทเดนไดรต์ที่แทรกอยู่ในชั้น**หนังกำพร้า** (epidermis) และหน่วยรับความรู้สึกบางชนิดฝังลึกอยู่ในผิวหนังชั้น**หนังแท้** (dermis) ซึ่งหน่วยรับความรู้สึกนี้จะไวต่อการกระตุ้นแตกต่างกันทั้งเร็วและช้า และไวต่อการกระตุ้นเฉพาะอย่าง เช่น การสัมผัส แรงกด ความร้อน ความเย็น ความเจ็บปวด และการยืด หน่วยรับสัมผัสบางหน่วยอาจอยู่อิสระ บางหน่วยพันอยู่รอบเส้นขน ดังนั้นเมื่อลูบเส้นขนเบา ๆ ก็จะรับรู้การสัมผัสได้เช่นกัน บางหน่วยมีปลายประสาทเดนไดรต์อยู่ตรงกลางและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันหุ้ม ดังรูป 18.50



รูป 18.50 ปลายประสาทที่ทำหน้าที่รับความรู้สึกต่าง ๆ บริเวณผิวหนัง

เมื่อสังเกตผิวหนังจะพบว่า ผิวหนังที่บริเวณต่าง ๆ มีความหนาไม่เท่ากัน เช่น บริเวณฝ่ามือและฝ่าเท้าจะมีความหนามากกว่าบริเวณอื่น **บนผิวหนังสามารถรับความรู้สึกได้เท่ากันทุกจุดหรือไม่** ซึ่งสามารถศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 18.3 ความไวในการรับสัมผัสแต่ละบริเวณของผิวหนัง

จุดประสงค์

สังเกตและอธิบายความไวในการรับสัมผัสของผิวหนังในแต่ละบริเวณ

วัสดุและอุปกรณ์

1. ลวดเสียบกระดาษ
2. ไม้บรรทัด

วิธีการทำกิจกรรม

1. ให้ผู้ถูกทดลองหลับตา แล้วผู้ทดลองใช้ปลายลวดเสียบกระดาษ ซึ่งขาทั้ง 2 ข้างกางห่างกัน 2 cm แตะลงบนผิวหนังของผู้ถูกทดลอง โดยแตะด้วยปลายข้างเดียวบ้าง และแตะทั้งสองปลายบ้าง ให้ผู้ถูกทดลองบอกว่าถูกแตะด้วยปลายลวดกี่ข้าง
2. ปรับปลายลวดทั้ง 2 ข้างให้ชิดเข้ามาเป็นระยะ ๆ ครั้งละ 2 mm แล้วทดลองซ้ำตามข้อ 1 เรื่อย ๆ จนผู้ถูกทดลองไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างแตะด้วยปลายลวด 1 ปลาย และ 2 ปลายได้ วัดความห่างของปลายลวดในขณะนั้น แล้วบันทึกไว้ในตาราง
3. ลองทำเช่นเดียวกันตามบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น บริเวณต้นคอ ปลายนิ้ว แขน

ตารางบันทึกผลการทดลอง

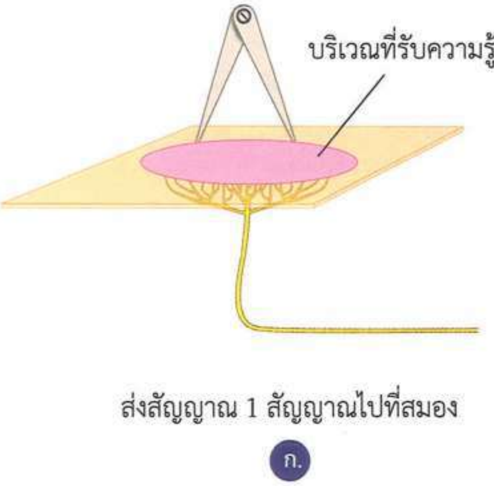
บริเวณของร่างกาย	ทดลองครั้งที่	ระยะห่างของปลายลวดเสียบกระดาษ (cm)	จำนวนปลายลวดที่ถูกแตะ	
			1 ปลาย	2 ปลาย

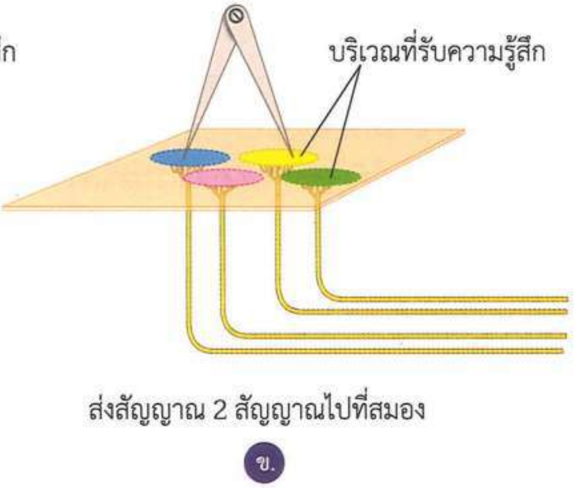
คำถามท้ายกิจกรรม

? เพราะเหตุใดผิวหนังแต่ละบริเวณจึงรับความรู้สึกได้ไม่เท่ากัน

จากกิจกรรมจะพบว่าบริเวณต่าง ๆ ของผิวหนังในร่างกายจะมีความไวต่อความรู้สึกไม่เท่ากัน โดยพิจารณาจากความสามารถในการจำแนกจุดสัมผัส 2 จุดได้เมื่อถูกกระตุ้นบนผิวหนังด้วยการแตะด้วยปลายลวดทั้ง 2 ข้าง ความแตกต่างของการรับความรู้สึกนี้บอกถึงขนาด**บริเวณที่รับความรู้สึก** (receptive field) บนผิวหนัง ถ้าบริเวณที่รับความรู้สึกแคบจะทำให้บอกรายละเอียดของวัตถุที่กำลังสัมผัสได้ดีกว่าบริเวณที่รับความรู้สึกที่กว้างกว่า

จุดสัมผัส 2 จุด ที่อยู่บนบริเวณที่รับความรู้สึกเดียวกัน จะส่งสัญญาณเพียงสัญญาณเดียวไปที่สมอง สมองจึงรับรู้ว่าเป็นจุดเดียว ดังรูป 18.51 ก. แต่ถ้าจุดสัมผัส 2 จุด อยู่บนบริเวณที่รับความรู้สึกต่างกัน จะแยกการส่งกระแสประสาทไปที่สมองผ่านทางเส้นประสาทรับความรู้สึก 2 เส้น สมองจึงรับรู้และจำแนกจุดสัมผัส 2 จุดได้ ดังรูป 18.51 ข.





รูป 18.51 บริเวณที่รับความรู้สึกและความสามารถในการจำแนกจุดสัมผัส 2 จุด

ในแต่ละบริเวณก็อาจมีชนิดและจำนวนของหน่วยรับความรู้สึกที่แตกต่างกัน ผิวหนังมีปลายประสาทอยู่มากมาย ทำหน้าที่รับความรู้สึกเช่น ความร้อน ความเย็น การสัมผัส แรงกด และความเจ็บปวด แล้วส่งกระแสประสาทไปยังสมอง เพื่อให้สมองรับรู้สภาพแวดล้อมแล้วสั่งการให้ร่างกายตอบสนอง

ร่างกายของมนุษย์มีกลไกการทำงานของระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึกที่ซับซ้อนและมีความสอดคล้องกัน เมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้นอวัยวะรับความรู้สึก เซลล์ประสาทรับความรู้สึกจะรับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกผ่านเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองเข้าสู่ไขสันหลังหรือสมอง จากนั้นกระแสประสาทจะถูกส่งผ่านเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองไปยังหน่วยปฏิบัติงานซึ่งเป็นกล้ามเนื้อต่าง ๆ ทำให้ร่างกายสามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิต ดังนั้นจึงควรตระหนักถึงวิธีป้องกันรักษาระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึกและใช้อย่างถูกวิธีเพื่อให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

การควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์และสัตว์เกิดขึ้นผ่านทางเซลล์ประสาท เช่น การเคลื่อนที่ จะมีการส่งกระแสประสาทไปยังหน่วยปฏิบัติงานที่เป็นกล้ามเนื้อโครงร่างซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบประสาทโซมาติก กล้ามเนื้อจะมีการทำงานอย่างไรจึงสามารถเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่เพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ จะได้เรียนในบทต่อไป

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น ไฮดรา มีร่างแหประสาท พลานาเรีย ไส้เดือนดิน กุ้ง หอย แมลงมีปมประสาทและเส้นประสาท สัตว์มีกระดูกสันหลังมีสมอง ไขสันหลัง ปมประสาท และเส้นประสาท เพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายในและสิ่งเร้าภายนอก

2. เนื้อเยื่อประสาทประกอบด้วยเซลล์ประสาท และเซลล์เกลีย

3. เซลล์ประสาทประกอบด้วยตัวเซลล์ และเส้นใยประสาท โดยแบ่งเซลล์ประสาทตามรูปร่างและเส้นใยประสาทได้แก่ เซลล์ประสาทขั้วเดียว เซลล์ประสาทสองขั้วและเซลล์ประสาทหลายขั้ว แบ่งเซลล์ประสาทตามหน้าที่ได้แก่ เซลล์ประสาทรับความรู้สึก เซลล์ประสาทสั่งการ และเซลล์ประสาทประสานงาน

4. ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของเซลล์ประสาทเกิดจากการเคลื่อนที่เข้าและออกของโซเดียมไอออน และโพแทสเซียมไอออน ผ่านช่องโซเดียม ช่องโพแทสเซียม และการทำงานของโซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม

5. กระแสประสาทหรือแอกชันโพเทนเชียลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของเซลล์ประสาทโดยการเคลื่อนที่ของโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนผ่านช่องไอออนที่มีประตูของแอกซอน

6. การเกิดแอกชันโพเทนเชียลประกอบด้วยระยะต่าง ๆ ดังนี้ ระยะพัก ดีโพลาไรเซชัน รีโพลาไรเซชัน และไฮเพอร์โพลาไรเซชัน

7. การนำกระแสประสาทในแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้มจะช้ากว่าการนำกระแสประสาทในแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

8. การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาทหรือเซลล์อื่น ๆ เกิดโดยผ่านไซแนปส์เคมีหรือไซแนปส์ไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะเป็นไซแนปส์เคมีโดยการหลั่งสารสื่อประสาท

9. ระบบประสาทของมนุษย์และสัตว์มีกระดูกสันหลังแบ่งได้ 2 ระบบ คือ ระบบประสาทส่วนกลางประกอบด้วยสมองและไขสันหลัง และระบบประสาทรอบนอกประกอบด้วย เส้นประสาทสมอง เส้นประสาทไขสันหลัง และปมประสาท

10. สมองแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ สมองส่วนหน้า สมองส่วนกลาง และสมองส่วนหลัง แต่ละส่วนจะควบคุมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายแตกต่างกัน

11. ไขสันหลังอยู่ต่อจากสมองเป็นศูนย์รวมการเกิดรีเฟล็กซ์ชนิดต่าง ๆ โดยมีเส้นประสาทไขสันหลังรับความรู้สึกเข้าสู่ไขสันหลังผ่านปมประสาทและนำคำสั่งออกจากไขสันหลังไปยังหน่วยปฏิบัติงาน

12. ระบบประสาทรอบนอกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่รับความรู้สึกทำหน้าที่รับและนำความรู้สึกเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง และส่วนที่สั่งการทำหน้าที่นำคำสั่งที่ได้รับจากระบบประสาทส่วนกลางไปยังหน่วยปฏิบัติงาน โดยส่วนที่สั่งการแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ ระบบประสาทโซมาติก และระบบประสาทอัตโนวัติ

13. ระบบประสาทโซมาติกควบคุมหน่วยปฏิบัติงานที่บังคับได้หรืออยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ คือ กล้ามเนื้อโครงร่าง

14. ระบบประสาทอัตโนวัติควบคุมหน่วยปฏิบัติงานที่บังคับไม่ได้หรืออยู่นอกอำนาจจิตใจ เช่น อวัยวะภายใน กล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ ต่อมต่าง ๆ ระบบประสาทอัตโนวัติแบ่งเป็น ระบบประสาทซิมพาเทติก และระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ส่วนใหญ่ทำงานตรงกันข้ามเพื่อรักษาดุลยภาพของร่างกาย

15. ตา หู จมูก ลิ้นและผิวหนังเป็นอวัยวะรับความรู้สึก เมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้นหน่วยรับความรู้สึกที่อวัยวะรับความรู้สึกต่าง ๆ จะมีการส่งกระแสประสาทผ่านเซลล์ประสาทรับความรู้สึกแล้วไปสมองให้ทำการประมวลผล เพื่อให้เกิดการตอบสนองที่เหมาะสมต่อสิ่งเร้านั้น

16. อวัยวะรับความรู้สึกมีความสำคัญในการดำรงชีวิต จึงต้องดูแล ป้องกัน และรักษาเพื่อให้อวัยวะรับความรู้สึกต่าง ๆ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 18

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.... 1.1 เซลล์ประสาทส่วนใหญ่มี 1 แอกซอนยื่นออกจากตัวเซลล์

....

.... 1.2 เซลล์ประสาทที่สมองจะได้รับสารอาหาร แก๊สออกซิเจนจากน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลัง

....

.... 1.3 เซลล์ประสาทหลายขั้วทำหน้าที่ควบคุมการรับความรู้สึกและสั่งการหน่วยปฏิบัติงาน

....

.... 1.4 แอกชันโพเทนเชียลจะเกิดได้เมื่อมีสิ่งเร้ากระตุ้นเซลล์ประสาทถึงระดับเทรสโฮลด์

....

.... 1.5 การแลกเปลี่ยนไอออนผ่านช่องโปรตีนที่มีประตูที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์เป็นการแพร่แบบแอกทีฟทรานสปอร์ต

....

.... 1.6 โซเดียมโพแทสเซียมปั๊มทำงานเพื่อลำเลียงโซเดียมไอออนออกนอกเซลล์และลำเลียงโพแทสเซียมไอออนเข้ามาภายในเซลล์ เพื่อรักษาศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ระยะพัก

....

.... 1.7 ถ้าศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์เปลี่ยนจาก -70 mV เป็นประมาณ -50 mV จะทำให้สมบัติในการยอมให้สารผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนไป โดยมีการลำเลียงโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้น

....

.... 1.8 เส้นประสาทไขสันหลังบางเส้นทำหน้าที่รับความรู้สึก บางเส้นทำหน้าที่สั่งการ

....

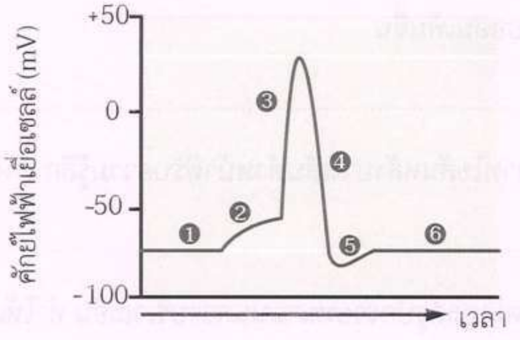
.... 1.9 จุดภาพชัดมีเซลล์รูปกรวยหนาแน่นกว่าบริเวณอื่น ทำให้แสงที่ตกบริเวณนี้เกิดเป็นภาพได้ชัดเจน

....

.... 1.10 แต่ละตุ่มรับรสสามารถรับรสได้เพียงรสเดียว

....

2. จากรูปแสดงการเกิดแอกชันโพเทนเชียลที่แอกซอน



จงเติมคำหรือข้อความที่กำหนดให้ที่มีความสัมพันธ์กับหมายเลขลงในตาราง (ตอบซ้ำได้) และเติมเครื่องหมายถูก (√) เพื่อแสดงการเปิดหรือปิดของช่องโซเดียมที่มีประตูหรือช่องโพแทสเซียมที่มีประตู

depolarization depolarization (ต่ำกว่าเทรสโฮลด์) hyperpolarization
repolarization resting state

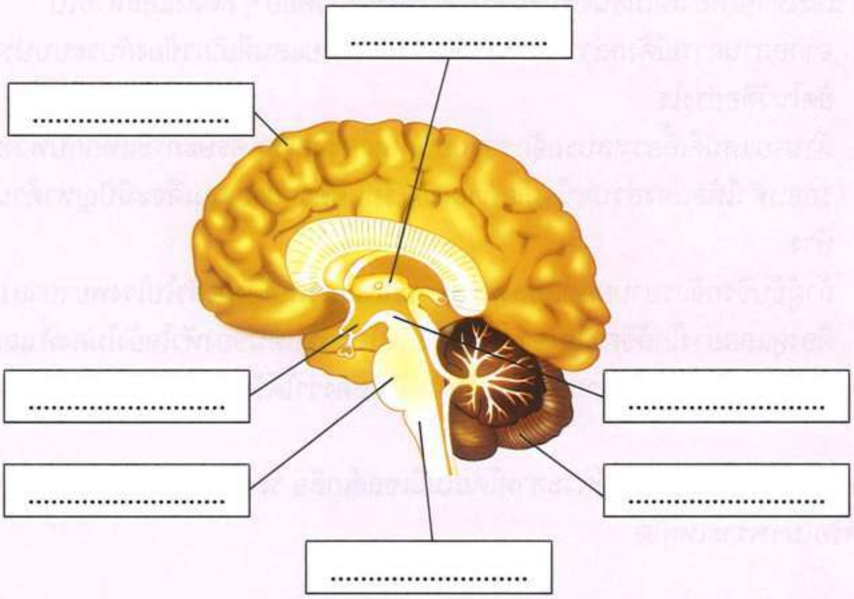
ระยะ	ช่องไอออนที่มีประตู			
	ช่องโซเดียมที่มีประตู		ช่องโพแทสเซียมที่มีประตู	
	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด
1				
2				
3				
4				
5				
6				

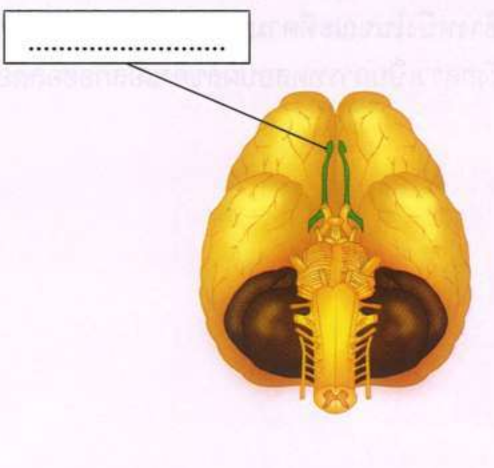
3. ขณะที่นายแสนดีขับรถยนต์เพื่อเดินทางไปท่องเที่ยว มีรถจักรยานยนต์ขี่ตัดหน้ากะทันหัน ทำให้นายแสนดีตกใจมากจึงรีบเลี้ยวรถหลบอย่างรวดเร็วทำให้รอดพ้นจากการชนไปได้หวุดหวิด หลังจากเกิดเหตุการณ์นายแสนดีรู้สึกตกใจมาก มีอาการหัวใจเต้นเร็ว รูม่านตาขยาย และเหงื่อไหล แต่เมื่อนั่งพักสักครู่อาการดังกล่าวค่อย ๆ ลดลงและหายไป
    3.1 จากสถานการณ์ดังกล่าว อาการที่เกิดขึ้นกับนายแสนดีเกี่ยวข้องกับระบบประสาทอัตโนวัติอย่างไร
    3.2 ถ้านายแสนดีเลี้ยวหลบรถจักรยานยนต์อย่างรวดเร็ว ศีรษะกระแทกกับพวงมาลัยรถจนทำให้สมองส่วนหน้าเสียหาย นักเรียนคิดว่านายแสนดีจะมีปัญหาด้านใดได้บ้าง
    3.3 ถ้าผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ล้มลงศีรษะกระแทกทำให้ต้องส่งตัวไปโรงพยาบาล แพทย์ต้องดูแลอย่างใกล้ชิดเนื่องจากการหายใจและการเต้นของหัวใจยังไม่คงที่ และห้ามเดินหรือลุกนั่งเร็วเพราะยังทรงตัวได้ไม่ดี แสดงว่าได้รับบาดเจ็บที่ส่วนใดของสมอง

4. ถ้าเนื้อเยื่อประสาทมีแต่เซลล์ประสาทโดยไม่มีเซลล์เกลีย ระบบประสาทจะทำงานได้เป็นปกติหรือไม่ เพราะเหตุใด

5. การวินิจฉัยเบื้องต้นสำหรับผู้ที่ดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ว่ามีอาการเมาหรือไม่โดยไม่ต้องใช้การทดสอบทางเคมีมีหลายวิธี เช่น ให้ผู้รับการทดสอบเดินเป็นเส้นตรง โดยให้วางส้นเท้าจรดต่อปลายนิ้วเท้าอีกข้างหนึ่งในขณะที่ตามองไปข้างหน้า ผู้ที่มีอาการเมาจะเดินไม่เป็นเส้นตรง การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบผลของแอลกอฮอล์ต่อการทำงานของสมองส่วนใด จงอธิบาย

6. จงเติมชื่อส่วนต่าง ๆ ของสมองมนุษย์เป็นภาษาอังกฤษลงในรูป และหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน (ตอบได้มากกว่า 1 ชื่อ และตอบซ้ำได้)





.... 6.1 สร้างฮอร์โมนซึ่งควบคุมการสร้างและหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า

.... 6.2 ควบคุมการเต้นของหัวใจ ความดันเลือด

.... 6.3 ควบคุมการหายใจในภาวะปกติ

.... 6.4 ควบคุมการทรงตัวของร่างกาย

.... 6.5 ทางผ่านของกระแสประสาทเกี่ยวกับการดมกลิ่น

.... 6.6 ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย

.... 6.7 ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย

.... 6.8 ศูนย์กลางการรับรส การมองเห็น การได้ยินและการดมกลิ่น

.... 6.9 ทางผ่านของกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อส่งไปยังเซรีบรัมบริเวณต่าง ๆ

.... 6.10 ควบคุมการเคลื่อนไหวของตา

7. ถ้าผู้ที่มีอายุ 15 ปี สายตาปกติ อายุ 25 ปี สายตาสั้น และอายุ 60 ปี สายตายาว ทำกิจกรรมอ่านหนังสือและมองนก การมองวัตถุนั้นจะเป็นอย่างไร ให้อธิบายเกี่ยวกับความชัดเจนของการมองเห็น และวาดรูปเลนส์ตา เอ็นยึดเลนส์ กล้ามเนื้อยึดเลนส์ และแสงจากวัตถุที่ตกบนเรตินาลงในตาราง

อายุ (ปี)/ สายตา	อ่านหนังสือที่อยู่ห่าง 30 เซนติเมตร	มองนกที่อยู่ห่าง 20 เมตร
15 สายตาปกติ		
25 สายตาสั้น (-2.0)		
60 สายตายาว		

บทที่ 19 | การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต

ipst.me/10775



หุ่นยนต์สุนัขถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นสัตว์เลี้ยง และได้รับการพัฒนาจากหุ่นรุ่นเดิมให้มีการเคลื่อนที่อย่างเป็นธรรมชาติมากขึ้น ควบคุมการทำงานด้วยระบบประมวลผลทำให้สามารถตอบสนองกับมนุษย์และสิ่งรอบข้างได้ เมื่อส่งเสียงเรียกหุ่นยนต์สุนัขจะหันหัวมาตามเสียงเรียกและส่งเสียงร้อง เจ้าของสามารถส่งเสียงออกคำสั่งเพื่อให้หุ่นยนต์สุนัขทำตามได้ เช่น เดิน หมอบ และยกขาขึ้นให้จับ บริเวณลำตัวส่วนต่าง ๆ มีเซนเซอร์สำหรับรับสัมผัส ถ้ามีมือไปลูบที่หลังจะตอบสนองด้วยการส่ายหัวรวมทั้งกระดิกหูและหางไปมา บริเวณตามีกล้องเพื่อใช้ตรวจสอบวัตถุที่อยู่รอบตัวทำให้ไม่เดินไปชนกับสิ่งรอบข้าง **สุนัขที่มีชีวิตสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นธรรมชาติมากกว่าหุ่นยนต์ และตอบสนองได้ดีกว่าเนื่องจากมีโครงสร้างใดที่แตกต่างจากหุ่นยนต์ และมีการควบคุมการทำงานอย่างไร**

สุนัขและสัตว์ชนิดต่าง ๆ มีรูปร่างแตกต่างกัน และอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันด้วย **โครงสร้างของร่างกายและสิ่งแวดล้อมมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสัตว์อย่างไร และมีการทำงานร่วมกันของระบบต่าง ๆ อย่างไรจึงทำให้สัตว์เคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวได้**

คำถามสำคัญ

1. **เพราะเหตุใดสิ่งมีชีวิตจึงมีการเคลื่อนที่**
2. **สิ่งมีชีวิตเคลื่อนที่ได้อย่างไร**
3. **สภาพแวดล้อมมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตอย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายและเปรียบเทียบโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอะมีบา พารามีเซียม และยูกลีนา
2. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของแมงกะพรุน หมึก ดาวทะเล ไส้เดือนดิน และแมลง
3. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของปลาและนก
4. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของกระดูกและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวและการเคลื่อนที่ของมนุษย์
5. สังเกตและอธิบายการทำงานของข้อต่อชนิดต่าง ๆ
6. สังเกตและอธิบายการทำงานของกล้ามเนื้อโครงร่างที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวและการเคลื่อนที่ของมนุษย์

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. ไซโทสเกเลตอนเป็นเส้นใยโปรตีนช่วยในการเคลื่อนที่ของเซลล์
2. พารามีเซียมสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าโดยการเคลื่อนที่
3. แมลงที่บินได้จะมีกล้ามเนื้อเฉพาะที่ปีกเท่านั้น
4. ระบบประสาทจะส่งสัญญาณให้กล้ามเนื้อหดตัวทำให้เกิดการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่ได้
5. เซรีเบลลัมทำหน้าที่ประสานการเคลื่อนไหวของร่างกาย
6. การตอบสนองของหน่วยปฏิบัติงานจะต้องถูกสั่งโดยสมองเท่านั้น
7. โครงกระดูกมีส่วนเกี่ยวข้องในการเคลื่อนที่ของสัตว์มีกระดูกสันหลัง
8. ถ้ากล้ามเนื้อทำงานหนัก อาจเกิดการเกร็งของกล้ามเนื้อและเป็นตะคริวได้
9. นักเพาะกายจะรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงเพื่อนำไปสร้างกล้ามเนื้อ
10. ข้อต่อมีน้ำไขข้อทำหน้าที่ลดแรงเสียดทานระหว่างกระดูกอ่อน

การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตอาจมีจุดประสงค์ที่หลากหลาย เช่น หาอาหาร หลบหลีกอันตราย หรือหาคู่เพื่อผสมพันธุ์ การเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวร่างกายของสัตว์อาจเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อสิ่งเร้า ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบประสาท **สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่ไม่มีระบบประสาทสามารถเคลื่อนที่เพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้หรือไม่ อย่างไร**

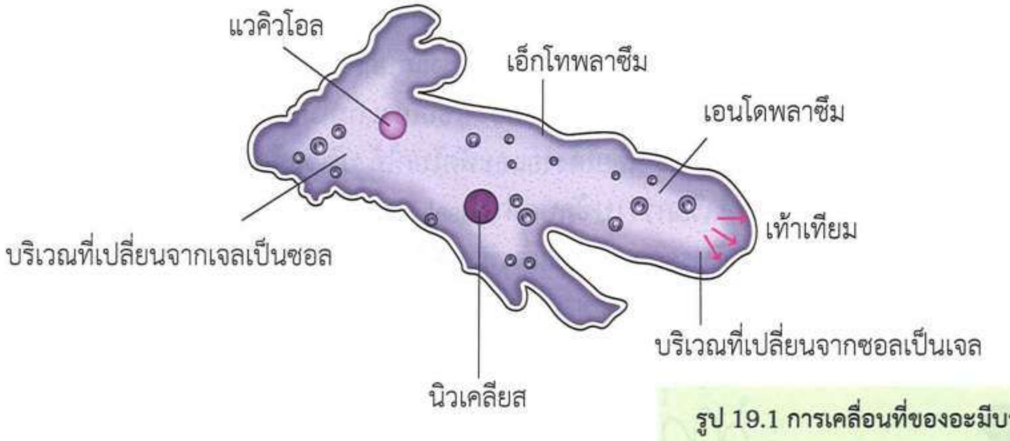
19.1 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว

สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวไม่มีเซลล์ประสาท แต่สามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ อาจเป็นการเคลื่อนที่เข้าหาหรือเคลื่อนที่ออกจากสิ่งเร้า ภายในไซโทพลาซึมของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวมีไซโทสเกเลตอนที่เป็นเส้นใยโปรตีนทำหน้าที่เป็นโครงร่างค้ำจุนเซลล์และช่วยในการเคลื่อนที่ของเซลล์ ไซโทสเกเลตอนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว คือ ไมโครฟิลาเมนท์และไมโครทิวบูล ดังที่ได้เรียนมาแล้วในเรื่องเซลล์และการทำงานของเซลล์ **ไซโทสเกเลตอนช่วยในการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวได้อย่างไร**

สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในน้ำหรือบริเวณที่มีความชื้นสูง การเคลื่อนที่จะแตกต่างกันตามโครงสร้างของเซลล์ ซึ่งอาจเกิดจากการไหลของไซโทพลาซึมหรือการใช้แฟลเจลลัมหรือซิเลียในการเคลื่อนที่ ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวบางชนิดเป็นดังนี้

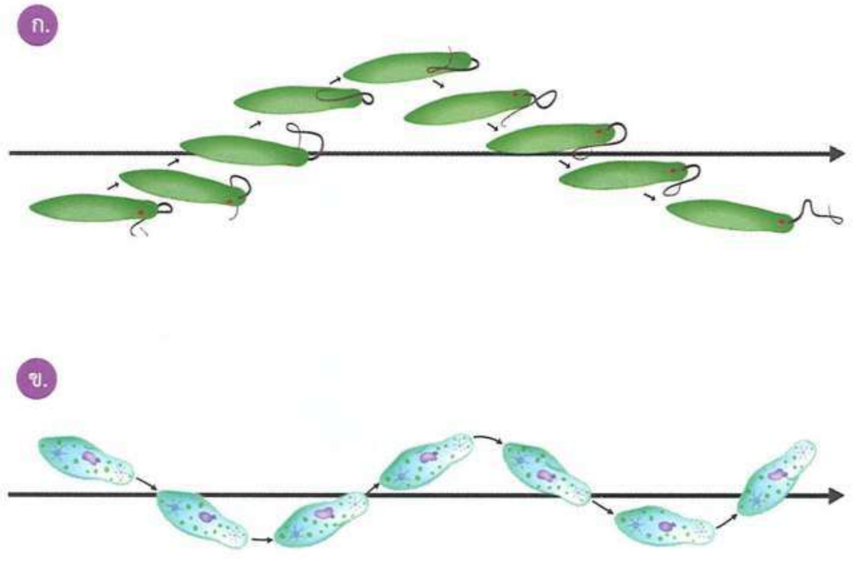
อะมีบาอาศัยในบริเวณที่มีความชื้น ไม่มีโครงสร้างที่ใช้ในการเคลื่อนที่โดยเฉพาะ จะเคลื่อนที่โดยการไหลของไซโทพลาซึมเป็น**เท้าเทียม** (pseudopodium) ไซโทพลาซึมในเซลล์ของอะมีบาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ **เอ็กโทพลาซึม** (ectoplasm) เป็นไซโทพลาซึมชั้นนอกที่มีลักษณะเป็นสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว เรียกว่า **เจล** (gel) และ**เอนโดพลาซึม** (endoplasm) เป็นไซโทพลาซึมชั้นในมีลักษณะค่อนข้างเหลว เรียกว่า **ซอล** (sol)

การไหลของไซโทพลาซึมเกิดจากการรวมตัวและแยกตัวของโปรตีนแอกทิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของไมโครฟิลาเมนท์ทำให้สมบัติของไซโทพลาซึมเปลี่ยนจากเจลเป็นซอลและเปลี่ยนจากซอลเป็นเจล ไซโทพลาซึมจะไหลไปในทิศทางที่เซลล์จะเคลื่อนที่ไปและดันเยื่อหุ้มเซลล์ส่วนนั้นให้ยื่นออกเป็นเท้าเทียม จากนั้นไซโทพลาซึมของทั้งเซลล์จะไหลไปตามทิศทางของเท้าเทียม ทำให้อะมีบาเคลื่อนที่ได้ เรียกการเคลื่อนที่นี้ว่า **การเคลื่อนที่แบบอะมีบา** (amoeboid movement) ดังรูป 19.1



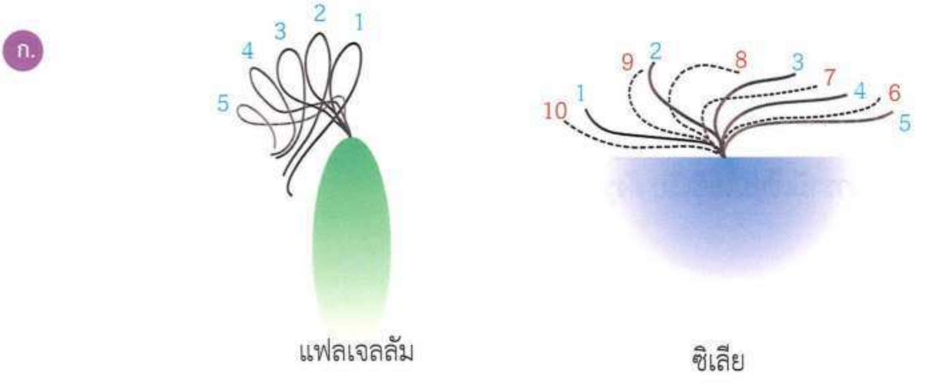
รูป 19.1 การเคลื่อนที่ของอะมีบา

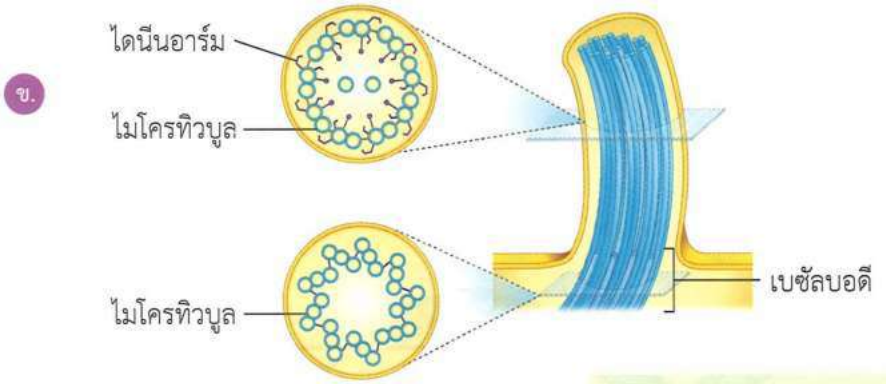
ยูกลีนาและพารามีเซียมอาศัยอยู่ในน้ำ มีโครงสร้างที่ใช้ในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน โดยยูกลีนาใช้แฟลเจลลัมและพารามีเซียมใช้ซิเลีย ดังรูป 19.2



รูป 19.2 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว
ก. ยูกลีนา ข. พารามีเซียม

แฟลเจลลัมและซิเลียมีความแตกต่างกันที่ความยาว จำนวน และลักษณะการเคลื่อนไหวของโครงสร้าง ดังรูป 19.3 ก. แต่มีโครงสร้างพื้นฐานที่เหมือนกันคือ ประกอบด้วยแกนที่เป็นไมโครทิวบูลเรียงตัวเป็นวง 9 กลุ่ม กลุ่มละ 2 หลอด และไมโครทิวบูลตรงแกนกลาง 2 หลอด ระหว่างกลุ่มไมโครทิวบูลถูกล้อมรอบด้วยเยื่อหุ้มและมีโปรตีนไดนีนเป็นเสมือนแขนเกาะกับไมโครทิวบูล เรียกว่า **ไดนีนอาร์ม** (dynein arm) ทำให้แฟลเจลลัมและซิเลียโค้งงอและพัดโบกได้ บริเวณโคนของแฟลเจลลัมและซิเลียยึดติดกับโครงสร้างภายในเซลล์ เรียกว่า **เบซัลบอดี** (basal body) ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของแฟลเจลลัมและซิเลีย เบซัลบอดีประกอบด้วยไมโครทิวบูลเรียงตัวเป็นวง 9 กลุ่ม กลุ่มละ 3 หลอด และไม่มีไมโครทิวบูลตรงแกนกลาง ดังรูป 19.3 ข.





รูป 19.3 แฟลเจลลัมและซิเลีย
ก. การเคลื่อนไหว ข. โครงสร้าง

เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวแล้ว สัตว์มีวิวัฒนาการประกอบด้วยเซลล์มากขึ้น ร่างกายมีขนาดใหญ่ขึ้นและโครงสร้างของร่างกายซับซ้อนมากกว่า จำเป็นต้องมีโครงร่างไว้ค้ำจุนให้คงรูปร่างอยู่ได้ นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของสัตว์ยังเป็นการทำงานร่วมกันของโครงร่าง กล้ามเนื้อ และระบบประสาท

19.2 การเคลื่อนที่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง

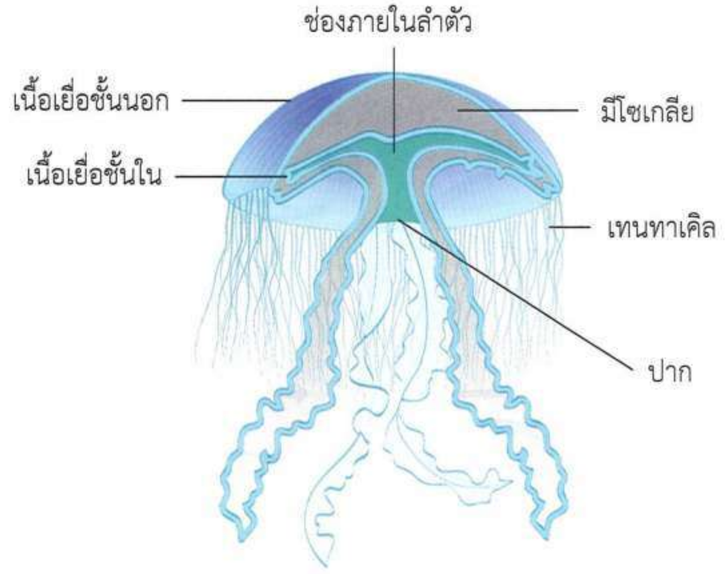
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังสามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้นได้โดยมีระบบประสาทควบคุมการตอบสนอง เช่น ควบคุมการหดตัวของเนื้อเยื่อหรือกล้ามเนื้อทำให้เกิดการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหว โครงร่างของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิด เช่น แมงกะพรุน หมึก และไส้เดือนดิน มีของเหลวเป็นองค์ประกอบและบรรจุอยู่ภายในลำตัวทำให้คงรูปร่างอยู่ได้ เรียกโครงร่างนี้ว่า **ไฮโดรสแตติกสเกเลตอน** (hydrostatic skeleton) เมื่อเนื้อเยื่อหรือกล้ามเนื้อหดตัวจะมีการกระจายตัวของของเหลวไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย **ไฮโดรสแตติกสเกเลตอนช่วยในการเคลื่อนที่ได้อย่างไร**

ตัวอย่างการเคลื่อนที่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิดมีดังนี้

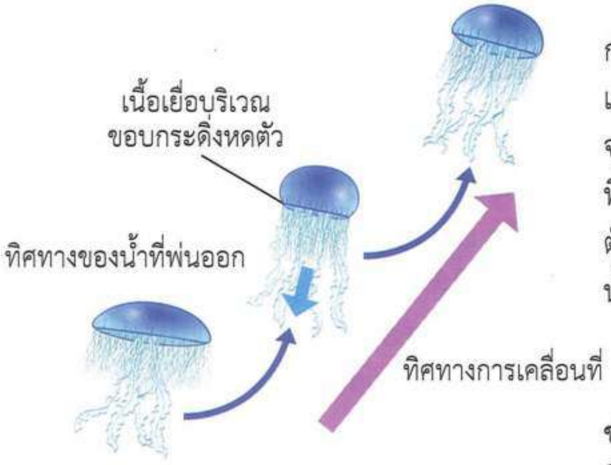
ipst.me/10795

แมงกะพรุน

แมงกะพรุนมีเนื้อเยื่อชั้นนอกและเนื้อเยื่อชั้นใน และมี**มีโซเกลีย** (mesoglea) ซึ่งมีลักษณะคล้ายเจล แทรกอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อ 2 ชั้น ดังรูป 19.4



รูป 19.4 โครงสร้างของแมงกะพรุน

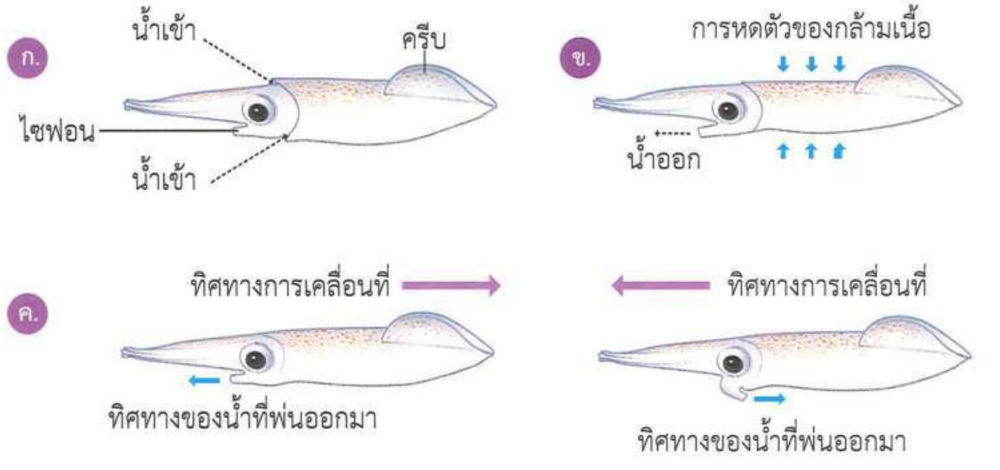


รูป 19.5 การเคลื่อนที่ของแมงกะพรุน

โดยทั่วไปแมงกะพรุนจะลอยไปตามกระแสน้ำ แต่ในบางกรณี เช่น หาอาหารหรือเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ การเคลื่อนที่จะเกิดจากการหดตัวของเนื้อเยื่อบริเวณขอบกระดิ่งและที่ผนังลำตัวสลับกัน ทำให้เกิดแรงดันของน้ำผลักตัวแมงกะพรุนให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามกับน้ำที่พ่นออกมา ดังรูป 19.5

ลำตัวหมึกมีช่องที่ให้น้ำไหลเข้าไปใน **ช่องว่างภายในลำตัว** (mantle cavity) ส่วนท้ายมีครีบ ดังรูป 19.6 ก. เมื่อหมึกเคลื่อนที่ตามปกติจะใช้ครีบว่ายน้ำ แต่ในบางกรณี เช่น หนีศัตรู หมึกจะเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว

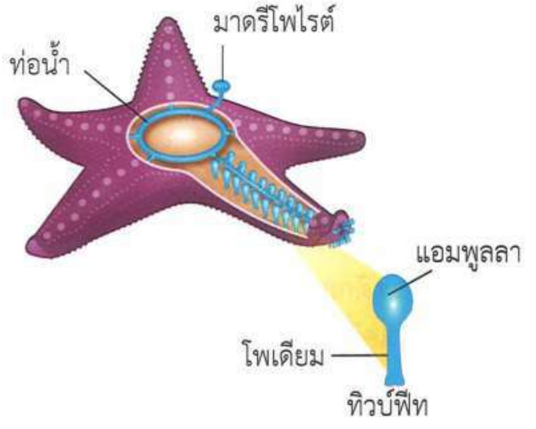
การเคลื่อนที่ของหมึกเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อบริเวณลำตัวทำให้น้ำภายในลำตัวพ่นออกมาทาง**ไซฟอน** (siphon) ดังรูป 19.6 ข.น้ำที่พ่นออกมาดันให้ลำตัวของหมึกเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของน้ำที่พ่นออกมา ดังรูป 19.6 ค.



รูป 19.6 โครงสร้างและการเคลื่อนที่ของหมึก

ดาวทะเล

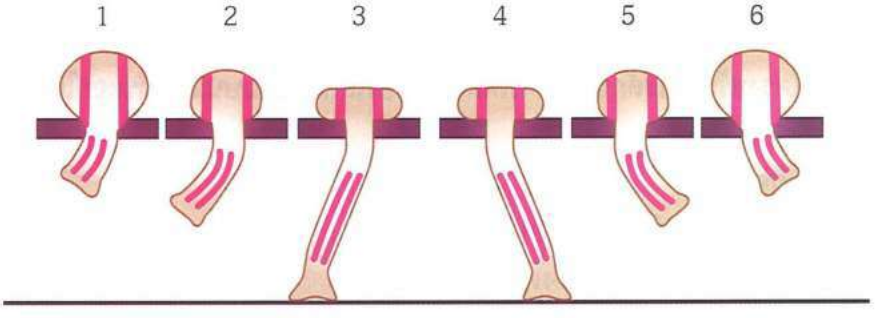
ดาวทะเลเป็นสัตว์ที่มีโครงร่างแข็งแต่ใช้ไฮโดรสแตติกสเกเลตอนในการเคลื่อนที่โดยอาศัย **ระบบท่อน้ำ** (water vascular system) ซึ่งอยู่ภายในลำตัว ประกอบด้วย**มาดรีโพไรต์** (madreporite) เป็นช่องต่อกับภายนอกสำหรับปรับปริมาณน้ำภายในระบบท่อน้ำเพื่อส่งไปตามท่อและไปที่**ทิวบ์ฟีท** (tube feet) ซึ่งประกอบด้วย **แอมพูลลา** (ampulla) ที่มีลักษณะคล้ายกระเปาะติดอยู่กับ**โพเดียม** (podium) ดังรูป 19.7



รูป 19.7 โครงสร้างและระบบท่อน้ำของดาวทะเล

การเคลื่อนที่ของดาวทะเลเกิดขึ้นดังรูป 19.8 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- กล้ามเนื้อบริเวณแอมพูลลาหดตัวจะดันน้ำไปยังโพเดียม ทำให้โพเดียมยืดยาว (รูปที่ 1 2 และ 3)
- กล้ามเนื้อของโพเดียมหดตัวทำให้โพเดียมสั้นลงจะดันน้ำไปยังแอมพูลลา แอมพูลลาขยายขนาดและกล้ามเนื้อคลายตัว (รูปที่ 4 5 และ 6)
- ในขณะที่แอมพูลลาหดตัวและโพเดียมยืดยาว ถ้ากล้ามเนื้อด้านใดด้านหนึ่งของโพเดียมหดตัวจะทำให้โพเดียมเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างได้ (รูปที่ 3 และ 4)



รูป 19.8 กลไกการทำงานของทิวบ์ฟีท

การยืดหดของทิวบ์ฟีทหลาย ๆ อันต่อเนื่องกันทำให้ดาวทะเลเคลื่อนที่ไปได้ ปลายสุดของทิวบ์ฟีทมีลักษณะคล้าย**แผ่นดูด** (sucker) ทำให้การยึดเกาะกับพื้นผิวขณะเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

การเคลื่อนที่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่กล่าวมาแล้วเป็นสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ ดังนั้นจึงใช้ไฮโดรสแตติกสเกเลตอนและอาศัยแรงดันน้ำในการเคลื่อนที่ **สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่บนบกมีการเคลื่อนที่อย่างไร**

ไส้เดือนดิน

ลำตัวไส้เดือนดินมีลักษณะเป็นปล้อง ซึ่งผนังลำตัวมีกล้ามเนื้อเจริญดี ภายในมีของเหลวบรรจุอยู่เต็มช่องลำตัวทำหน้าที่พยุงอวัยวะต่าง ๆ และค้ำจุนลำตัวให้คงรูปร่างอยู่ได้ ไส้เดือนดินใช้ไฮโดรสแตติกสเกเลตอนในการเคลื่อนที่ เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวและคลายตัวจะทำให้ของเหลวภายในช่องลำตัวเคลื่อนที่ไปด้วย สามารถสังเกตการเคลื่อนที่ของไส้เดือนดินโดยศึกษาจากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 19.1 การเคลื่อนที่ของไส้เดือนดิน

จุดประสงค์

สังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของไส้เดือนดิน

วิธีการทำกิจกรรม

1. ไส้เดือนดิน
2. แผ่นกระจกใส
3. แว่นขยายหรือกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

วิธีการทำกิจกรรม

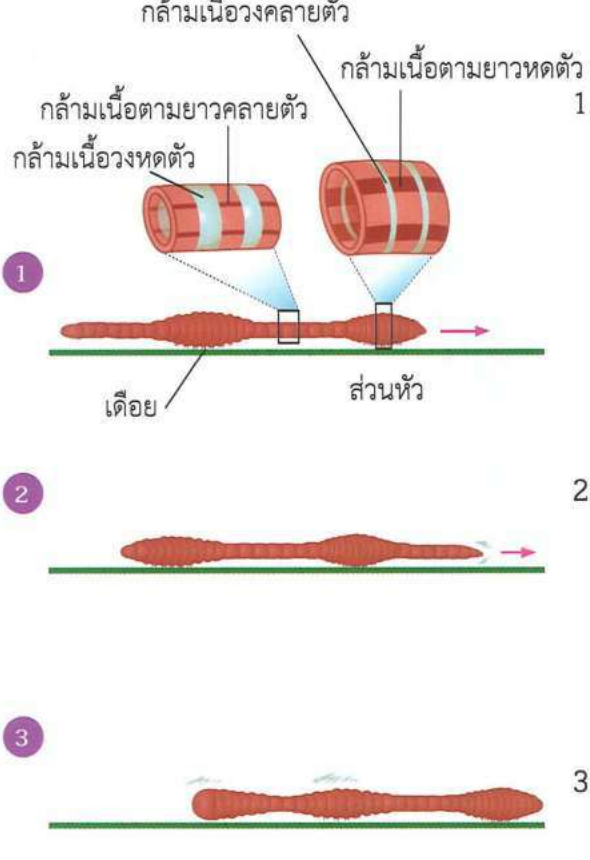
สังเกตโครงสร้างและลักษณะการเคลื่อนที่ของไส้เดือนดินบนแผ่นกระจกใสแล้วบันทึกผล

คำถามท้ายกิจกรรม

? ลักษณะการเคลื่อนที่ของไส้เดือนดินเป็นอย่างไร

? ไส้เดือนดินใช้โครงสร้างใดบ้างในการเคลื่อนที่

แต่ละปล้องของไส้เดือนดินมี**เดือย** (setae) เป็นโครงสร้างเล็ก ๆ ที่ยื่นออกมาจากผนังลำตัวรอบปล้องช่วยในการเคลื่อนที่ผนังลำตัวของไส้เดือนดินประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 2 ชุดโดยมีกล้ามเนื้อชุดหนึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่เรียงตัวเป็นวงรอบลำตัว เรียกว่า **กล้ามเนื้อวง** (circular muscle) อีกชุดหนึ่งมีลักษณะเรียงตามยาวขนานกับลำตัว เรียกว่า **กล้ามเนื้อตามยาว** (longitudinal muscle) การเคลื่อนที่ของไส้เดือนดินเป็นดังรูป 19.9



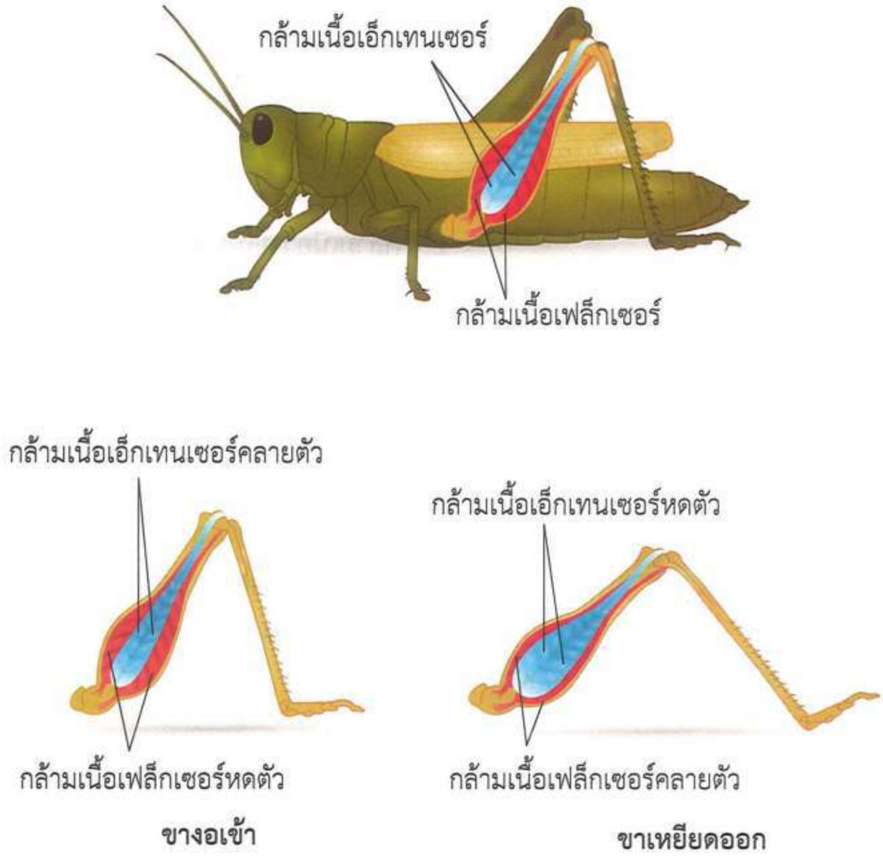
รูป 19.9 การเคลื่อนที่ของไส้เดือนดิน

1. ปล้องบริเวณส่วนหัวและใกล้หางมีลักษณะสั้นและโป่งออก เนื่องจากกล้ามเนื้อวงของปล้องบริเวณนั้นคลายตัวและกล้ามเนื้อตามยาวหดตัว และมีเดือยที่ยื่นออกมาจากผนังลำตัวจิกดินไว้ ปล้องบริเวณลำตัวส่วนอื่นมีลักษณะยาวและยืดออก เนื่องจากกล้ามเนื้อวงของปล้องบริเวณนั้นหดตัวและกล้ามเนื้อตามยาวคลายตัว
2. กล้ามเนื้อวงของปล้องบริเวณหัวจะหดตัวและกล้ามเนื้อตามยาวคลายตัว ทำให้ส่วนหัวมีลักษณะยาวและยืดไปข้างหน้า ปล้องของบริเวณลำตัวถัดจากหัวและส่วนหางจะโป่งออกและมีเดือยจิกดินไว้เพื่อไม่ให้ลำตัวเคลื่อนถอยหลัง
3. ปล้องบริเวณหัวและใกล้หางก็จะโป่งออกอีกครั้งหนึ่ง เดือยจิกลงดิน และลำตัวด้านท้ายเคลื่อนที่ตามมาทางด้านหัว

การทำงานของกล้ามเนื้อทั้ง 2 ชุดใน**สภาวะตรงกันข้าม** (antagonism) ทำให้ไส้เดือนดินสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ การที่กล้ามเนื้อวงและกล้ามเนื้อตามยาวหดตัวและคลายตัวเป็นจังหวะเหมือนระลอกคลื่นนี้เรียกว่า **เพอริสตัลซิส** (peristalsis)

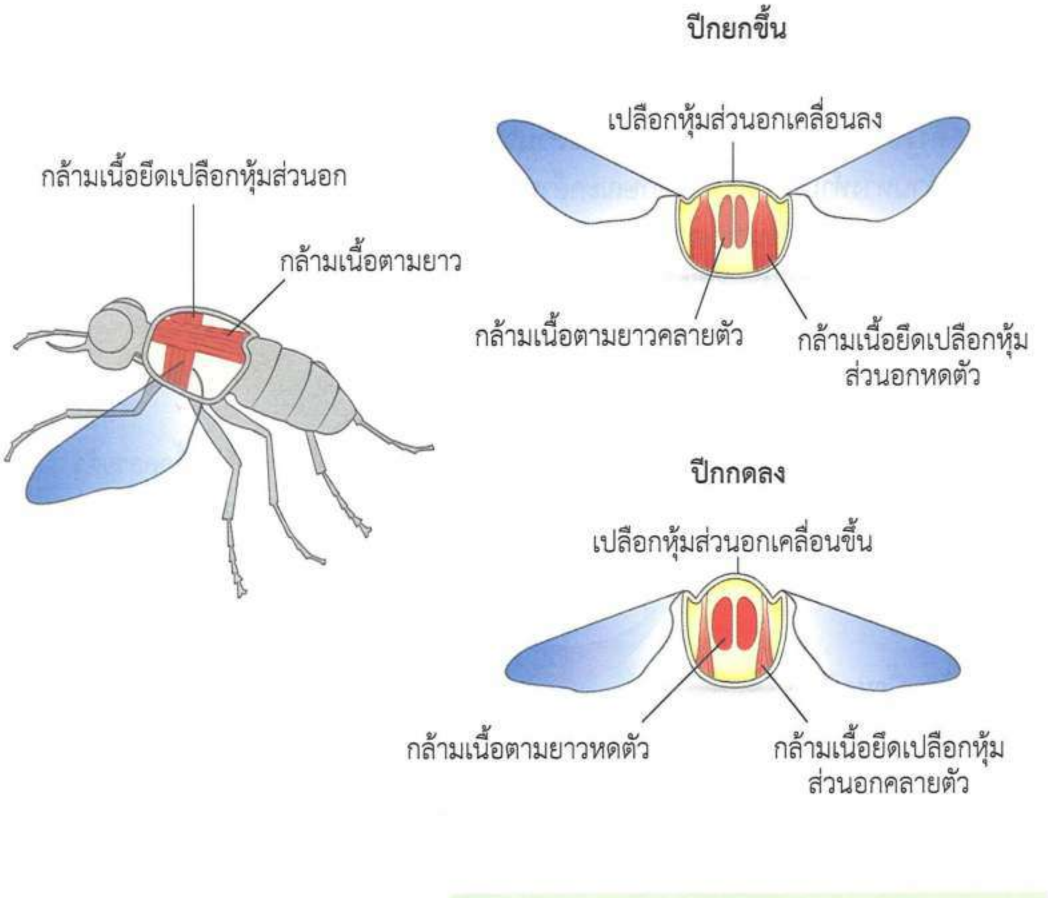
แมลง

แมลงมีลำตัวเป็นปล้อง มีรยางค์เป็นข้อ ๆ ต่อกัน มีโครงสร้างภายนอกเป็นเปลือกแข็งที่ประกอบด้วยไคทินและยึดกับกล้ามเนื้อภายในลำตัว แมลงเคลื่อนที่โดยอาศัย**โครงร่างแข็งภายนอก** (exoskeleton) ขาแมลงประกอบด้วยข้อต่อหลายตำแหน่งเพื่อให้สะดวกต่อการเคลื่อนที่ การเคลื่อนไหวของข้อต่ออาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อ เช่น การเคลื่อนไหวของขาตั๊กแตนเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อ 2 ชุด คือ กล้ามเนื้อ**เฟล็กเซอร์** (flexor) และกล้ามเนื้อ**เอ็กเทนเซอร์** (extensor) ซึ่งทำงานในสภาวะตรงกันข้าม คือ เมื่อกล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์หดตัว กล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์จะคลายตัวทำให้ขางอเข้า แต่เมื่อกล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์หดตัว กล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์จะคลายตัวทำให้ขาเหยียดออก ดังรูป 19.10



รูป 19.10 การทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตั๊กแตน

การเคลื่อนที่ด้วยการบินเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อ 2 ชุด คือ กล้ามเนื้อยึดเปลือกหุ้มส่วนอกและกล้ามเนื้อตามยาว กล้ามเนื้อยึดเปลือกหุ้มส่วนอกไม่ได้ติดกับปีกโดยตรงแต่ยึดกับเปลือกหุ้มส่วนอกไว้ เมื่อเปลือกหุ้มส่วนอกมีการเคลื่อนไหว ปีกที่ติดอยู่กับส่วนอกจะเคลื่อนไหวด้วย ดังรูป 19.11 การบินแบบนี้พบในแมลงส่วนใหญ่ เช่น ตั๊กแตน ผีเสื้อ แมลงวัน และผึ้ง อย่างไรก็ตามมีแมลงบางชนิดที่มีกล้ามเนื้อยึดติดกับปีกโดยตรง เช่น แมลงปอ ในขณะบินนั้นปีกจะเคลื่อนไหวเนื่องจากการทำงานของกล้ามเนื้อ



รูป 19.11 การทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการบินของผึ้ง

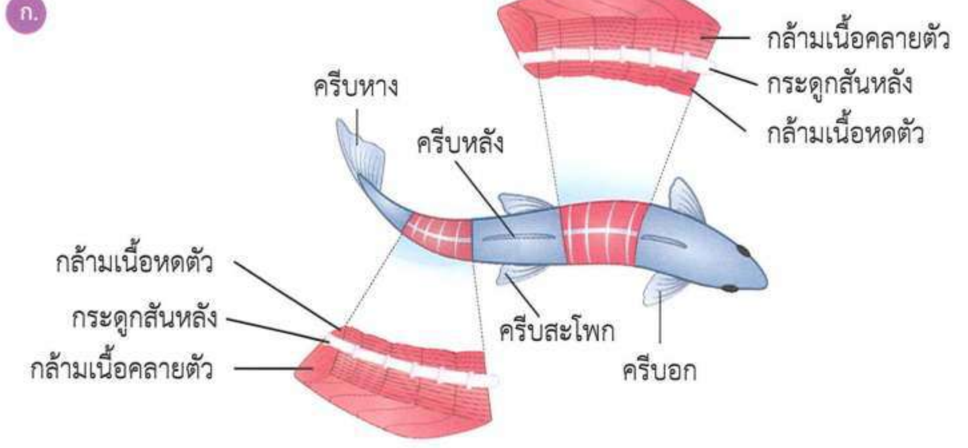
? ผลการทำงานของกล้ามเนื้อขณะที่แมลงขยับปีกขึ้นและลงเป็นอย่างไร

19.3 การเคลื่อนที่ของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

สัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดมีระบบโครงกระดูกเป็น**โครงร่างแข็งภายใน** (endoskeleton) ทำหน้าที่เป็นทั้งโครงร่างแข็งช่วยค้ำจุนร่างกายให้คงรูปและยังช่วยในการเคลื่อนที่อีกด้วย สัตว์มีกระดูกสันหลังมีทั้งที่อาศัยอยู่ในน้ำและบนบก **สัตว์เหล่านี้มีการเคลื่อนที่แตกต่างกันอย่างไร**

ปลา

ปลาที่มีลำตัวยาว เช่น ปลาไหล ปลาช่อน ขณะเคลื่อนที่ลำตัวจะโค้งไปมาคล้ายคลื่น การโค้งของลำตัวนั้นเกิดจากการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อแต่ละด้านที่ยึดติดกับกระดูกสันหลังในบริเวณเดียวกัน ดังรูป 19.12 ก. กล้ามเนื้อในแต่ละส่วนของลำตัวปลาจะหดตัวไม่พร้อมกัน โดยจะทยอยจากด้านหัวไปด้านหางทำให้ลำตัวปลามีลักษณะคล้ายคลื่น ดังรูป 19.12 ข. ส่วนการเคลื่อนที่ของปลาที่มีลำตัวไม่ยาวมาก จะมีการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อที่ยึดติดกับกระดูกสันหลังเช่นเดียวกัน ซึ่งลักษณะการโค้งของลำตัวปลาจะไม่คล้ายคลื่นแต่จะเกิดการโค้งที่บริเวณส่วนท้ายลำตัว ส่งผลให้ครีบหางโค้งงอสลับไปมาทางด้านซ้ายและขวา และทำให้ปลาเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้



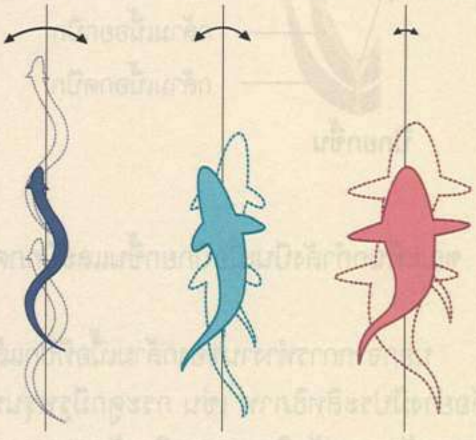


รูป 19.12 การเคลื่อนที่ของปลา
ก. การทำงานของกล้ามเนื้อขณะเคลื่อนที่ ข. ลักษณะการเคลื่อนที่ของปลา

นอกจากปลาจะว่ายน้ำเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแล้วยังสามารถเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวา เคลื่อนที่ไปด้านบนและด้านล่างได้ โดยใช้ครีบหลัง ครีบอก และครีบสะโพกช่วยในการกำหนดทิศทาง นอกจากรูปร่างของปลาที่เพรียวเหมาะกับการเคลื่อนที่ในน้ำแล้ว ที่ผิวหนังของปลามีเมือกช่วยลดแรงเสียดทานของน้ำขณะเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามรูปร่างของปลาที่เพรียวอาจทำให้ลำตัวปลามีโอกาสพลิกไปมาได้ง่าย จึงต้องอาศัยครีบช่วยในการรักษาสมดุลในการเคลื่อนที่และการทรงตัว

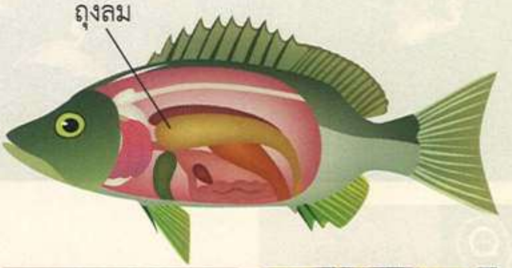
ชวนคิด

ลักษณะลำตัวของปลา 3 ชนิดนี้ ส่งผลต่อการโค้งของลำตัวปลาให้มีลักษณะคล้ายคลื่นอย่างไร



รู้หรือไม่

ปลาบางชนิดมีถุงลมหรือกระเพาะลม (swim bladder) ภายในมีแก๊สบรรจุอยู่ทำหน้าที่ควบคุมการลอยหรือจม สามารถนำกระเพาะลมมาใช้ทำอาหารได้โดยนำไปทอด เรียกว่า กระเพาะปลา และนำไปปรุงอาหารได้หลายชนิด







นก

นกบินได้ด้วยการกระพือปีกขึ้นลงทำให้เกิดแรงยกและทำให้ลำตัวเคลื่อนที่ไปข้างหน้า อาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อ 2 ชุด ที่ยึดระหว่างกระดูกโคนปีกและกระดูกอก คือ กล้ามเนื้อยกปีกและกล้ามเนื้อกดปีก ทำงานแบบสภาวะตรงกันข้ามทำให้นกสามารถขยับปีกขึ้นลงได้ ดังรูป 19.13



รูป 19.13 การเคลื่อนที่ของนก
ก. การยกปีกขึ้น ข. การกดปีกลง

? ขณะที่นกกำลังบินเมื่อปีกยกขึ้นและปีกกดลง กล้ามเนื้อ 2 ชุดมีการหดและคลายตัวอย่างไร

นอกจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่ปีกแล้ว ลักษณะที่เหมาะสมอื่น ๆ ของนกก็ทำให้นกสามารถบินได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น กระดูกมีรูพรุนทำให้มีน้ำหนักเบา ขนบริเวณปีกและหางทำหน้าที่ในการทรงตัวและปรับทิศทางการบิน ดังรูป 19.14



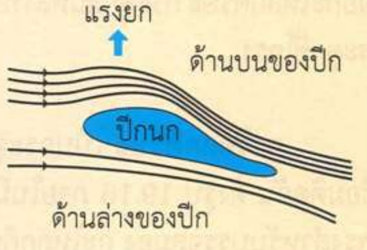
รูป 19.14 นกกำลังบินขึ้นจากพื้น

ชวนคิด

? ยกตัวอย่างนกที่บินไม่ได้ถึงแม้ว่าจะมีปีก เพราะเหตุใดจึงบินไม่ได้ และนกเหล่านั้นเคลื่อนที่ได้อย่างไร

เชื่อมโยงกับฟิสิกส์

การร่อนหรือลอยตัวในอากาศของนกเกิดจากแรงยก อากาศด้านบนของปีกจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ทำให้บริเวณเหนือปีกมีความดันอากาศน้อยกว่าอากาศบริเวณใต้ปีก ความดันอากาศใต้ปีกที่มีมากกว่าจะพยุงให้ปีกและลำตัวนกลอยอยู่ในอากาศได้



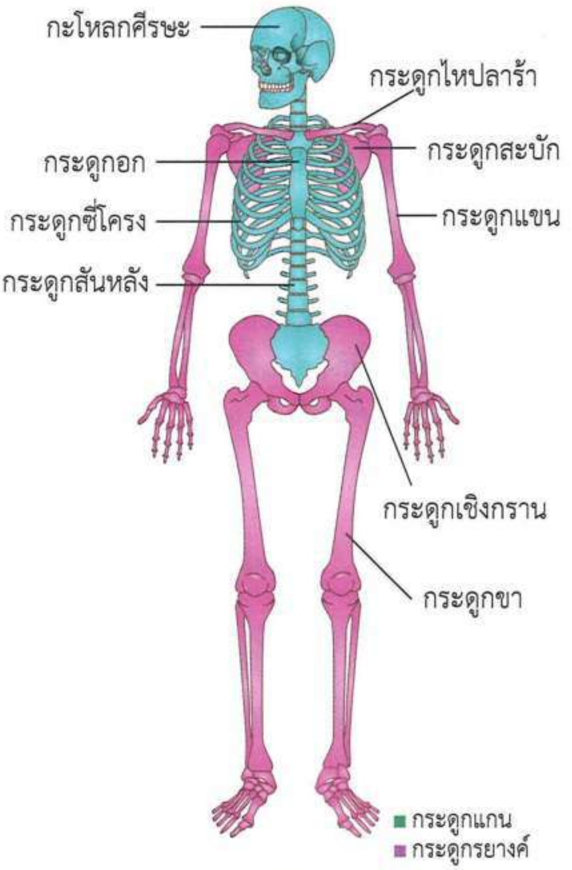
19.4 การเคลื่อนที่ของมนุษย์

มนุษย์เป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังเช่นเดียวกับปลาและนก การเคลื่อนไหวและการเคลื่อนที่ของมนุษย์อาศัยการทำงานของโครงกระดูกและกล้ามเนื้อเช่นเดียวกัน

ระบบโครงกระดูก

มนุษย์มี**ระบบโครงกระดูก** (skeleton system) ที่คล้ายกับสัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิด คือ ประกอบด้วย**กระดูกแกน** (axial skeleton) **กระดูกรยางค์** (appendicular skeleton) และ**ข้อต่อ** (joint) โครงกระดูกของมนุษย์ ประกอบด้วยกระดูกต่าง ๆ ดังรูป 19.15

เมื่อร่างกายของมนุษย์เจริญเติบโตเต็มที่จะประกอบด้วยกระดูก 206 ชิ้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามตำแหน่งที่อยู่คือ กระดูกแกนและกระดูกรยางค์ **กระดูกแกนและกระดูกรยางค์มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของมนุษย์อย่างไร**

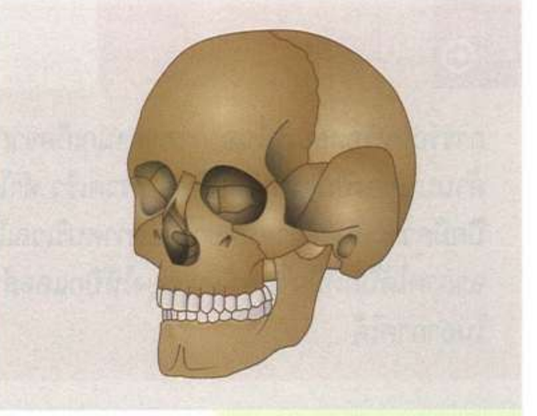


รูป 19.15 โครงกระดูกของมนุษย์

กระดูกแกน

กระดูกแกนมีจำนวน 80 ชิ้น ประกอบด้วยกะโหลกศีรษะ กระดูกสันหลัง กระดูกอก และกระดูกซี่โครง

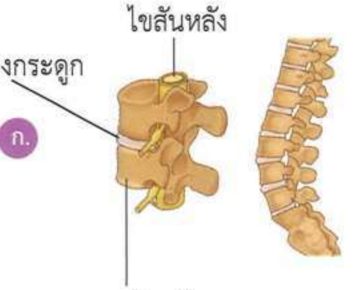
กะโหลกศีรษะ เป็นกระดูกที่เป็นแผ่นเชื่อมติดกัน ดังรูป 19.16 ภายในมีลักษณะเป็นโพรงสำหรับบรรจุสมอง กะโหลกศีรษะทำหน้าที่ป้องกันสมองไม่ให้ได้รับอันตราย

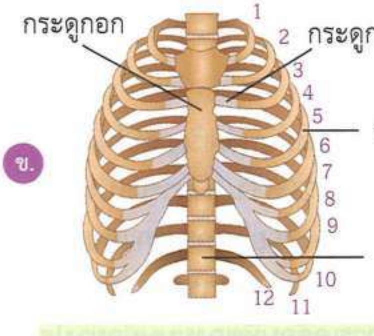


รูป 19.16 กะโหลกศีรษะ

กระดูกสันหลัง ทำหน้าที่ช่วยค้ำจุนและรองรับน้ำหนักของร่างกาย ประกอบด้วยกระดูกที่มีลักษณะเป็นข้อ ๆ ต่อกัน ระหว่างกระดูกสันหลังแต่ละข้อจะมีแผ่น**กระดูกอ่อน** (cartilage) หรือที่เรียกว่า **หมอนรองกระดูก** (intervertebral disc) ทำหน้าที่รองและเชื่อมกระดูกสันหลังแต่ละข้อเพื่อป้องกันการเสียดสี กระดูกสันหลังแต่ละข้อจะมีช่องให้ไขสันหลังสอดผ่าน ดังรูป 19.17 ก. และจะมีส่วนของจะงอยยื่นออกมาเป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อและเอ็น กระดูกสันหลังช่วงอกจะมีกระดูกซี่โครงมาเชื่อมต่อ

กระดูกซี่โครง ทำหน้าที่ช่วยป้องกันอวัยวะภายในช่องอก เช่น หัวใจและปอด กระดูกซี่โครงมี 12 คู่ กระดูกซี่โครงจะต่อกับด้านข้างของกระดูกสันหลังช่วงอก โดยจะเชื่อมต่อระหว่างกระดูกสันหลังส่วนอกทางด้านหลัง ส่วนด้านหน้าจะมีกระดูกอ่อนซี่โครงเชื่อมระหว่างกระดูกอกและกระดูกซี่โครง ยกเว้นกระดูกซี่โครงคู่ที่ 11 และ 12 จะเป็นซี่สั้น ๆ ไม่เชื่อมต่อกับกระดูกอกเรียกว่า ซี่โครงลอย ดังรูป 19.17 ข.





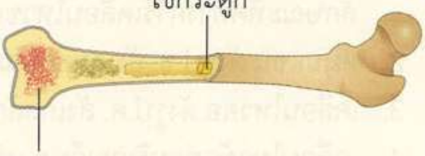
รูป 19.17 กระดูกแกนบางส่วน
ก. กระดูกสันหลัง ข. กระดูกซี่โครง

กระดูกรยางค์

กระดูกรยางค์มี 126 ชิ้น ได้แก่ กระดูกแขน กระดูกขา รวมไปถึงกระดูกสะบัก กระดูกไหปลาร้า และกระดูกเชิงกราน ซึ่งเป็นที่ยึดเกาะของแขนและขา

รู้หรือไม่

ภายในกระดูกประกอบด้วยเซลล์กระดูก เนื้อเยื่อประสาท หลอดเลือด แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมฟอสเฟต ภายในกระดูกท่อนยาวมีเซลล์ไขกระดูก ซึ่งในวัยเด็กมีหน้าที่สร้างเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว และเพลตเลต แต่เมื่อเจริญเติบโตแล้วจะมีลิพิดมาสะสมบริเวณไขกระดูกทำให้สร้างเซลล์เม็ดเลือดได้น้อย ส่วนบริเวณปลายกระดูกที่เรียกว่าไขกระดูกแดงมีการสร้างเซลล์เม็ดเลือดมาก



? การที่โครงกระดูกของมนุษย์ไม่ต่อกันเป็นชิ้นเดียวและมีจำนวนมากมีประโยชน์ต่อการเคลื่อนไหวอย่างไร

? ถ้าหมอนรองกระดูกเสื่อมจะเกิดผลอย่างไร

ข้อต่อ

โครงกระดูกประกอบด้วยกระดูกหลายชิ้นต่อกัน ตำแหน่งที่กระดูก 2 ชิ้นมาต่อกันเรียกว่า ข้อต่อ **ข้อต่อมีความสำคัญต่อการเคลื่อนไหวของร่างกายอย่างไร** สามารถศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้

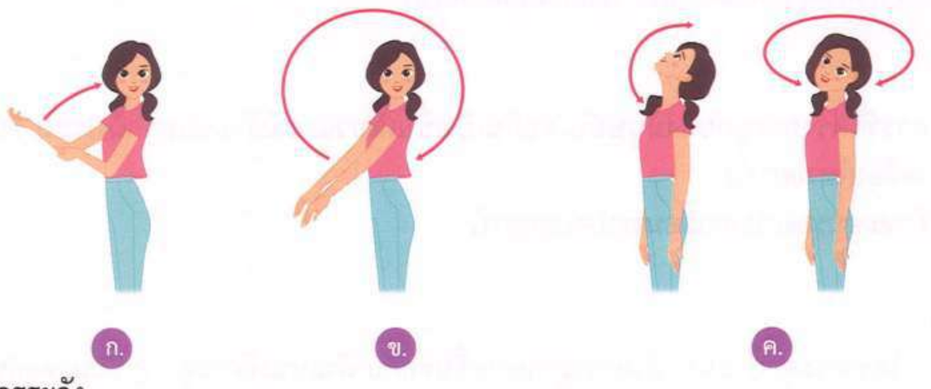
กิจกรรม 19.2 ข้อต่อกับการเคลื่อนไหว

จุดประสงค์

1. สังเกตการทำงานของข้อต่อชนิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์
2. จำแนกชนิดของข้อต่อโดยใช้เกณฑ์ที่กำหนดขึ้นเอง

วิธีการทำกิจกรรม

1. ใช้มือขวาจับข้อศอกแขนซ้ายให้แน่นและเคลื่อนส่วนปลายแขนไปมาดังรูป ก. สังเกตลักษณะทิศทางการเคลื่อนไหวของปลายแขน บันทึกผล
2. หมุนแขน ดังรูป ข. สังเกตลักษณะทิศทางการเคลื่อนไหวของแขน บันทึกผล
3. เคลื่อนไหวคอ ดังรูป ค. สังเกตลักษณะทิศทางการเคลื่อนไหวของศีรษะ บันทึกผล
4. เคลื่อนไหวข้อต่อบริเวณอื่นๆ เช่น นิ้วมือ หัวเข่า และข้อเท้า สังเกตลักษณะทิศทางการเคลื่อนไหวของส่วนต่าง ๆ บันทึกผล



ก. ข. ค.

ข้อควรระวัง

การเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของร่างกายควรทำด้วยความระมัดระวังโดยเฉพาะบริเวณศีรษะ

คำถามท้ายกิจกรรม

? ทุก ๆ ส่วนของร่างกายที่ใช้ทำกิจกรรมมีขอบเขตในการเคลื่อนไหวเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

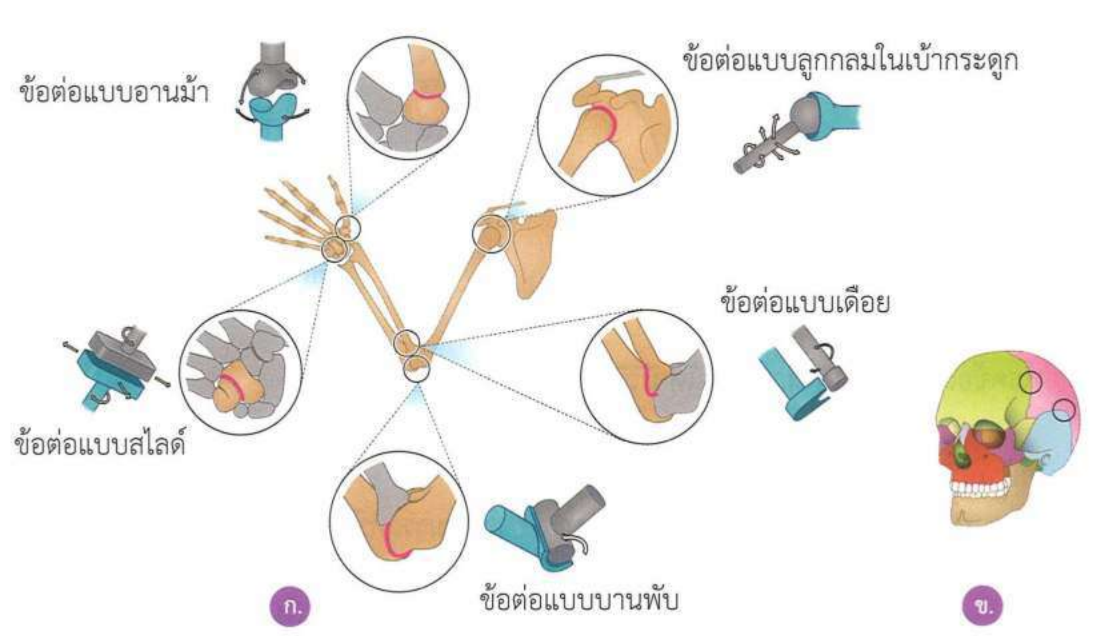
? สิ่งที่จำกัดขอบเขตในการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนที่ทำในกิจกรรมคืออะไร

? ถ้ากำหนดเกณฑ์เองเพื่อจำแนกข้อต่อจากการทำกิจกรรม จะใช้เกณฑ์ใดและจำแนกข้อต่ออย่างไร

ข้อต่อช่วยให้อวัยวะต่าง ๆ สามารถเคลื่อนไหวได้สะดวก อย่างไรก็ตามการเคลื่อนไหวของร่างกายบางส่วนสามารถเกิดได้หลายทิศทาง บางส่วนเคลื่อนไหวได้เฉพาะการเหยียดและงอเข้าเท่านั้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเชื่อมต่อกันของกระดูกตรงข้อต่อนั้นมีหลายลักษณะ ตัวอย่างข้อต่อชนิดเคลื่อนไหวได้ ดังรูป 19.18 ก.

ข้อต่อบางแห่งมีลักษณะการเชื่อมต่อเหมือนบานพับทำให้การเคลื่อนไหวตรงส่วนนั้นจำกัดได้เพียงทิศทางเดียว เช่นเดียวกับการเคลื่อนไหวของบานพับประตูหรือหน้าต่าง เช่น ข้อต่อบริเวณข้อศอก การเชื่อมกันของกระดูกบางแห่งเป็นไปในลักษณะคล้ายลูกกลมในเบ้ากระดูก ทำให้ร่างกายส่วนนั้นเคลื่อนไหวอย่างอิสระหลายทิศทาง เช่น ข้อต่อที่หัวไหล่ ข้อต่อบางแห่งเป็นแบบชนิดประกบสวมกันในลักษณะเดือย ทำให้สามารถก้ม เงย บิดไปทางซ้าย ขวา เช่น ข้อต่อที่ต้นคอกับฐานของกะโหลกศีรษะ หรือบิดไปทางซ้ายขวา เช่น ข้อต่อบริเวณข้อศอก

ข้อต่อบางแห่งที่ทำหน้าที่ยึดกระดูกและทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้เพียงเล็กน้อย เช่น ข้อต่อระหว่างกระดูกซี่โครงและกระดูกอก หรือข้อต่อที่เคลื่อนไหวไม่ได้ เช่น ข้อต่อของกะโหลกศีรษะ ดังรูป 19.18 ข.



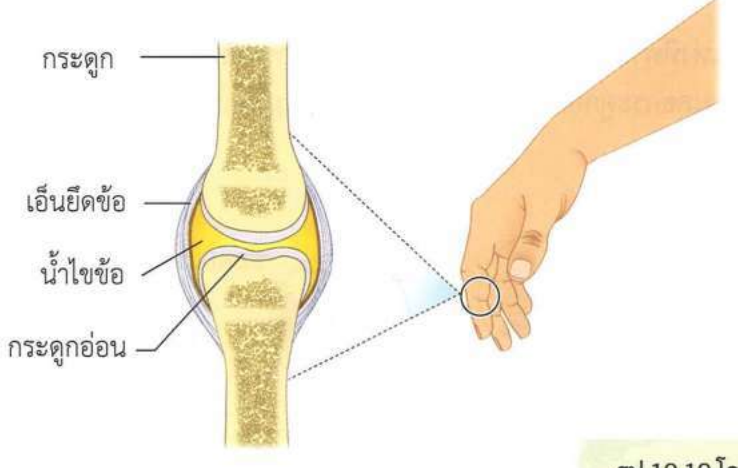
รูป 19.18 ลักษณะข้อต่อ
ก. ชนิดเคลื่อนไหวได้ ข. ชนิดเคลื่อนไหวไม่ได้

? ข้อต่อแบบอานม้ามีการเคลื่อนไหวอย่างไร

? ข้อต่อแบบบานพับพบที่บริเวณใดของร่างกาย

ข้อต่อของกระดูกบริเวณที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ระหว่างกระดูกบริเวณข้อต่อจะมีของเหลว เรียกว่า **น้ำไขข้อ** (synovial fluid) หล่อลื่นอยู่ ดังรูป 19.19 ทำให้กระดูกไม่เสียดสีกันขณะเคลื่อนไหว และทำให้เคลื่อนไหวได้สะดวกไม่เกิดความเจ็บปวด

การที่กระดูกมีลักษณะเป็นข้อต่อจำเป็นจะต้องมีโครงสร้างที่ยึดกระดูกให้เชื่อมติดต่อกัน เพื่อทำหน้าที่เป็นโครงร่างค้ำจุนร่างกายและทำให้กระดูกทำงานสัมพันธ์กันในการเคลื่อนไหว โครงสร้างดังกล่าวได้แก่ เนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีความเหนียวและทนทานเรียกว่า **เอ็นยึดข้อ** (ligament)

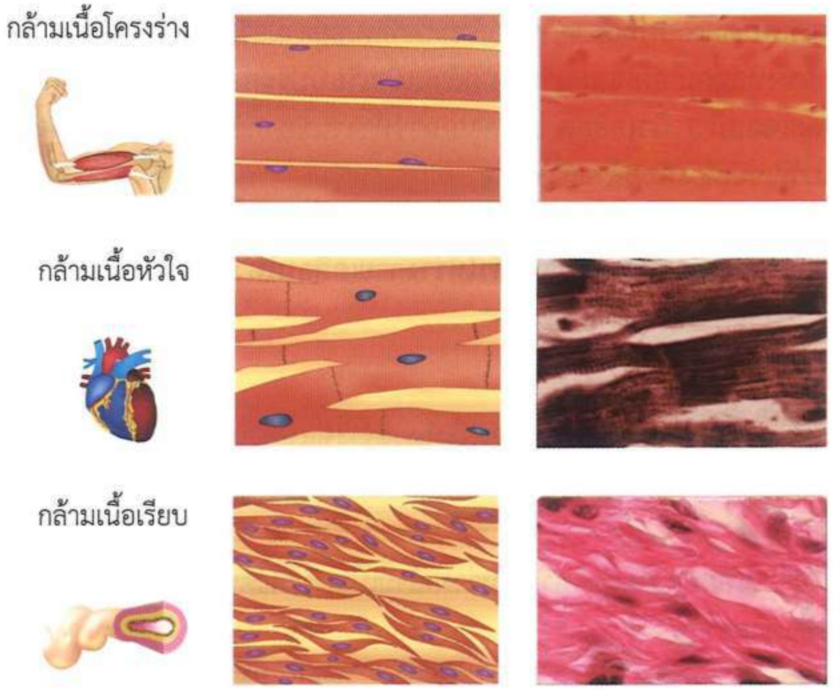


รูป 19.19 โครงสร้างของข้อต่อ

? โรคข้อเข่าเสื่อมเกิดจากสาเหตุใด มีวิธีการป้องกันและรักษาอย่างไร

ระบบกล้ามเนื้อ

การทำงานของระบบโครงกระดูกเพียงระบบเดียวไม่สามารถทำให้ร่างกายของสัตว์มีกระดูกสันหลังเคลื่อนไหวได้ ต้องอาศัยการทำงานร่วมกับ**ระบบกล้ามเนื้อ** (muscular system) เมื่อเกิดการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหว กล้ามเนื้อของสัตว์มีกระดูกสันหลังแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือกล้ามเนื้อโครงร่าง กล้ามเนื้อหัวใจ และกล้ามเนื้อเรียบ พบในตำแหน่งที่ต่างกันและมีหน้าที่แตกต่างกัน ดังรูป 19.20



รูป 19.20 เซลล์กล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่เกาะติดกับกระดูก เช่น กล้ามเนื้อแขนและกล้ามเนื้อขา ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยตรง กล้ามเนื้อโครงร่างประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกยาว แต่ละเซลล์มีหลายนิวเคลียส มองเห็นเป็นแถบสีอ่อนและสีเข้มสลับกันเห็นเป็นลาย

การทำงานของกล้ามเนื้อโครงร่างถูกควบคุมโดยระบบประสาทโซมาติก ดังนั้นการทำงานของกล้ามเนื้อชนิดนี้ร่างกายสามารถบังคับได้หรืออาจกล่าวว่าอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ

กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่พบบริเวณหัวใจ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเต้นของหัวใจ เซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก แต่สั้นกว่าเซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างและเห็นเป็นลายเช่นเดียวกัน ตอนปลายของเซลล์มีการแตกแขนงและเชื่อมโยงติดต่อกันกับเซลล์ข้างเคียง แต่ละเซลล์มี 1 นิวเคลียส

การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติ ดังนั้นร่างกายไม่สามารถบังคับได้จึงเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ

กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่พบอยู่ตามอวัยวะภายใน เช่น ผนังกระเพาะอาหาร ผนังลำไส้ ผนังหลอดเลือด และม่านตา กล้ามเนื้อเรียบประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะยาวหัวท้ายแหลม แต่ละเซลล์มี 1 นิวเคลียส ไม่มีลาย การทำงานของกล้ามเนื้อเรียบถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติเช่นเดียวกับกล้ามเนื้อหัวใจ

กล้ามเนื้อโครงร่างทำงานอย่างไรจึงทำให้ร่างกายเคลื่อนไหวได้ สามารถศึกษาได้จากการทำกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 19.3 การทำงานของกล้ามเนื้อโครงร่างที่แขน

จุดประสงค์

สังเกตและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกล้ามเนื้อบริเวณต้นแขนด้านบนกับด้านล่างเมื่อทำกิจกรรมที่แตกต่างกัน

วิธีการทำกิจกรรม

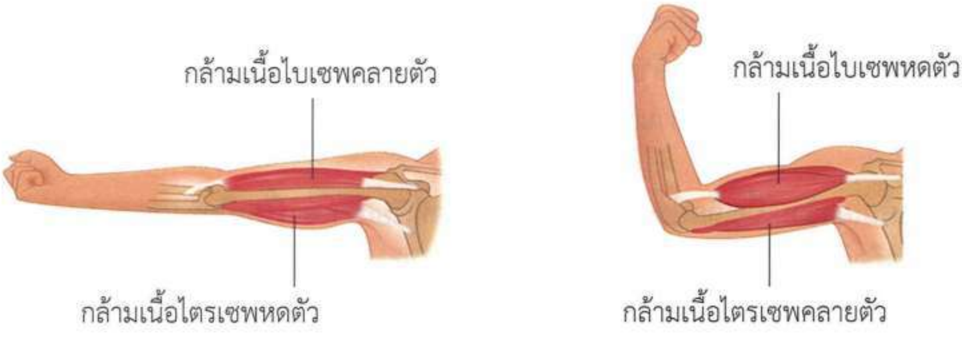
1. วางปลายแขนราบไปกับพื้นโต๊ะในลักษณะหงายฝ่ามือ แล้วจับกล้ามเนื้อบริเวณต้นแขนด้านบนเปรียบเทียบกับกล้ามเนื้อต้นแขนด้านล่าง บันทึกผล
2. วางหนังสือลงบนฝ่ามือและยกหนังสือขึ้น โดยการงอข้อตรงข้อศอกเท่านั้น ลองจับกล้ามเนื้อทั้ง 2 ตำแหน่งเดิมนั้นอีกครั้งหนึ่ง บันทึกการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ
3. นำหนังสือออกจากฝ่ามือ วางปลายแขนราบไปกับพื้นโต๊ะในลักษณะหงายฝ่ามือ แล้วออกแรงให้ปลายแขนกดพื้นโต๊ะ ลองจับกล้ามเนื้อทั้ง 2 ตำแหน่ง พร้อมทั้งบันทึกการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ

คำถามท้ายกิจกรรม

? กล้ามเนื้อแขนขณะที่ออกแรงยกหนังสือและกดพื้นโต๊ะกับขณะวางราบบนพื้น มีลักษณะแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

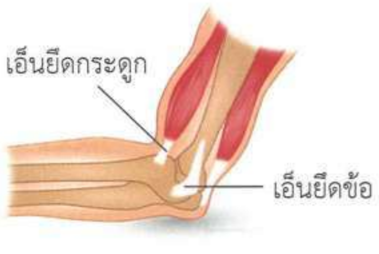
? นักเรียนจะสรุปผลการทดลองเกี่ยวกับการทำงานของกล้ามเนื้ออย่างไร

กล้ามเนื้อโครงร่างจะทำงานเป็นคู่ในสภาวะตรงกันข้าม การเหยียดแขนและงอแขนเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อ**ไบเซพ** (bicep) และกล้ามเนื้อ**ไตรเซพ** (tricep) ขณะที่ไบเซพคลายตัว ไตรเซพจะหดตัวทำให้แขนเหยียดออก และขณะที่ไบเซพหดตัว ไตรเซพจะคลายตัวทำให้แขนงอเข้า ดังรูป 19.21



รูป 19.21 การทำงานของกล้ามเนื้อไบเซพและกล้ามเนื้อไตรเซพ

เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวจะเกิดแรงดึงให้กระดูกทั้งท่อนเคลื่อนไหวได้ เพราะระหว่างกล้ามเนื้อกับกระดูกมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีความเหนียว แข็งแรง และทนทานต่อแรงดึง หรือรองรับน้ำหนักเรียกว่า **เอ็นยึดกระดูก** (tendon) ยึดอยู่ ดังรูป 19.22



รูป 19.22 เอ็นยึดกระดูกและเอ็นยึดข้อ

? เอ็นยึดข้อและเอ็นยึดกระดูกเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

รู้หรือไม่

เอ็นที่ยึดระหว่างกล้ามเนื้อน่องกับกระดูกส้นเท้าเรียกว่า เอ็นร้อยหวาย ซึ่งเป็นเอ็นยึดกระดูกชนิดหนึ่ง



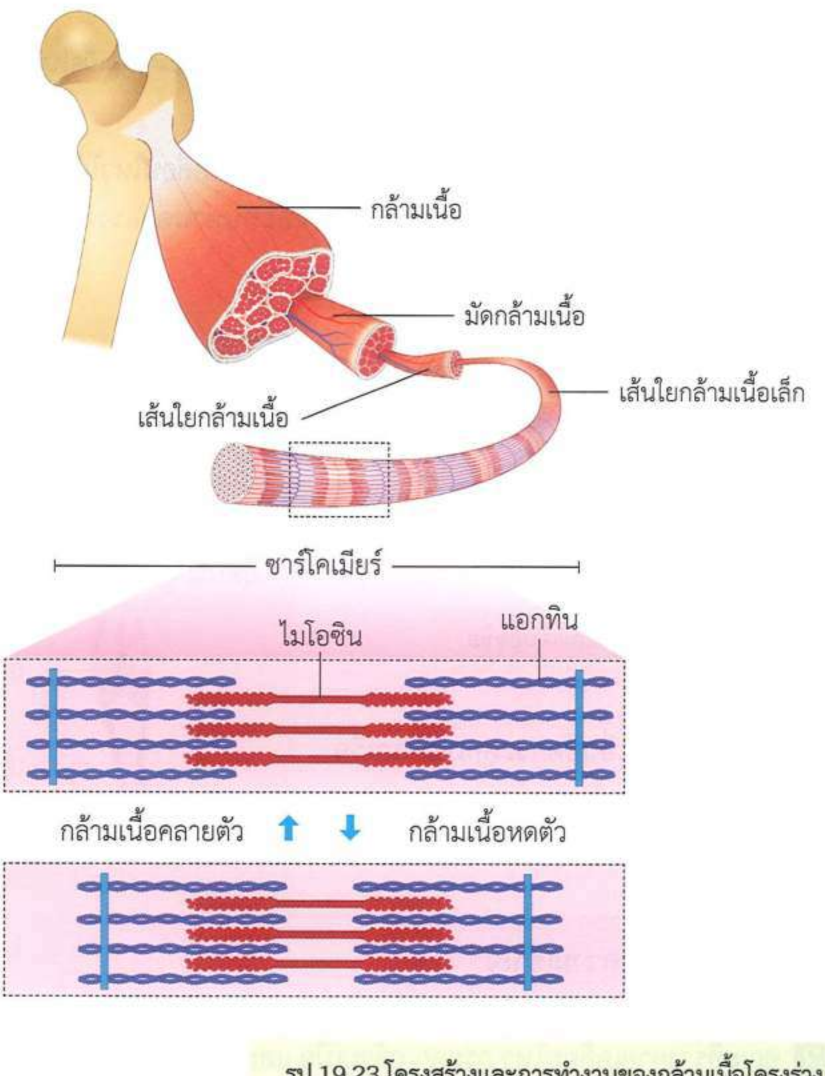
ตรวจสอบความเข้าใจ

? ขณะที่ร่างกายเคลื่อนไหว กระดูก กล้ามเนื้อ และข้อต่อมีการทำงานสัมพันธ์กันอย่างไร

โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อโครงร่าง

กล้ามเนื้อโครงร่างแต่ละมัดประกอบด้วย**เซลล์กล้ามเนื้อ** (muscle cell) หรือ**เส้นใยกล้ามเนื้อ** (muscle fiber) ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อประกอบด้วย**เส้นใยกล้ามเนื้อเล็ก** (myofibril) มีลักษณะเป็นท่อนยาวเรียงซ้อนกัน เส้นใยกล้ามเนื้อเล็กเหล่านี้จะอยู่รวมกันเป็นมัด

เส้นใยกล้ามเนื้อเล็กประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่า **ซาร์โคเมียร์** (sarcomere) ซึ่งมีโปรตีนหลัก 2 ชนิดคือ โปรตีน**แอกทิน** (actin) ที่มีลักษณะเป็นสายบางและโปรตีน**ไมโอซิน** (myosin) ที่มีลักษณะเป็นสายหนา แอกทินและไมโอซินเรียงตัวขนานกัน ดังรูป 19.23



รูป 19.23 โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อโครงร่าง

ฮิว ฮักซ์เลย์ และจีน แฮนสัน (Hugh Huxley และ Jean Hanson) ได้เสนอ**สมมติฐานการเลื่อนของฟิลาเมนท์** (sliding filament hypothesis) ว่าการหดตัวของกล้ามเนื้อเกิดจากการเลื่อนของแอกทินเข้าหากันตรงกลาง ซึ่งต้องอาศัย ATP และแคลเซียมที่ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อหดตัวได้

การหดตัวของกล้ามเนื้อเกิดจากการกระตุ้นโดยเซลล์ประสาทที่มายังเส้นใยกล้ามเนื้อ ดังรูป 19.24 จึงเกิดการกระตุ้นให้หลั่งแคลเซียมไอออนที่สะสมไว้ในเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวเรียบของเส้นใยกล้ามเนื้อที่เรียกว่า **ซาร์โคพลาสมิกเรติคูลัม** (sarcoplasmic reticulum; SR) ออกมาในไซโทพลาซึม

ถ้าไม่มีการกระตุ้นโดยเซลล์ประสาท ไมโอซินไม่สามารถจับกับแอกทินได้เนื่องจากที่แอกทินมีโปรตีนควบคุมขัดขวางอยู่ ดังรูป 19.25 ก. เมื่อระดับแคลเซียมสูงขึ้นจนเหมาะสม แคลเซียมไอออนจะไปจับกับโปรตีนควบคุมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ดังรูป 19.25 ข. ซึ่งทำให้ไมโอซินมาจับกับแอกทินได้

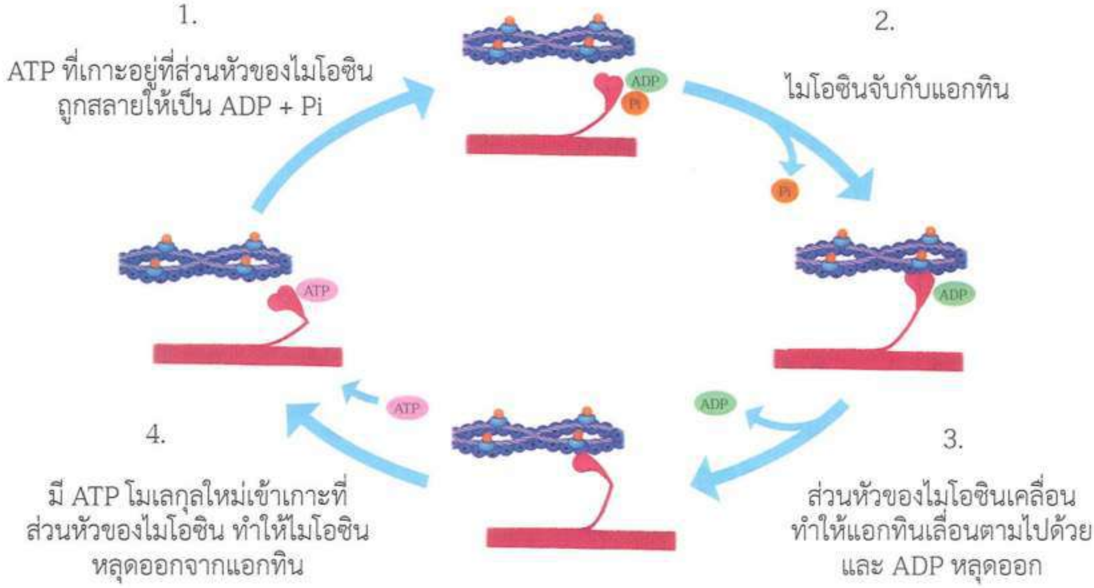


รูป 19.24 กล้ามเนื้อถูกควบคุมการทำงานโดยเซลล์ประสาท



รูป 19.25 การเปลี่ยนแปลงของแอกทินเมื่อมีแคลเซียมมาจับกับโปรตีนควบคุม

การที่ไมโอซินที่ได้รับ ATP สามารถจับกับแอกทินทำให้เกิดการเลื่อนของแอกทิน ดังรูป 19.26 ซึ่งการเลื่อนของแอกทินจะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ ทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ



ipst.me/10797

รูป 19.26 กลไกการเลื่อนของแอกทิน

เมื่อไม่มีการกระตุ้นจากเซลล์ประสาท แคลเซียมไอออนจะถูกดึงกลับสู่ SR โดยแคลเซียมปั๊ม ซึ่งต้องใช้ ATP การลดลงของระดับแคลเซียมนี้ทำให้โปรตีนควบคุมกลับไปที่ตำแหน่งเดิมที่ขวางการเข้าจับของไมโอซิน ไมโอซินจึงไม่สามารถจับกับแอกทินได้ กล้ามเนื้อจึงคลายตัว

? จงเปรียบเทียบการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง

? ตะคริวเป็นอาการเกร็งตัวหรือหดเกร็งของกล้ามเนื้อ เพราะเหตุใดถ้ามีการออกกำลังกายหนักจึงอาจเป็นตะคริวได้

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวเคลื่อนที่ด้วยโครงสร้างที่แตกต่างกัน อะมีบาเคลื่อนที่โดยการไหลของไซโทพลาซึม ยูกลีนาใช้แฟลเจลลัมและพารามีเซียมใช้ซิเลียในการเคลื่อนที่
2. สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น แมงกะพรุน เคลื่อนที่โดยอาศัยการหดตัวของเนื้อเยื่อบริเวณขอบกระดิ่งและที่ผนังลำตัวสลับกัน ทำให้เกิดแรงดันน้ำ
3. หมึกเคลื่อนที่โดยอาศัยการหดตัวของกล้ามเนื้อบริเวณลำตัว ทำให้น้ำภายในลำตัวพ่นออกมาทางไซฟอน ส่วนดาวทะเลใช้ระบบท่อน้ำในการเคลื่อนที่
4. ไส้เดือนดินมีการเคลื่อนที่โดยอาศัยการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อวงและกล้ามเนื้อตามยาวซึ่งทำงานในสภาวะตรงกันข้าม
5. แมลงเคลื่อนที่โดยใช้ปีกหรือขา ซึ่งมีกล้ามเนื้อที่อยู่ภายในโครงร่างแข็งทำงานในสภาวะตรงกันข้าม
6. สัตว์มีกระดูกสันหลัง เช่น ปลา เคลื่อนที่โดยอาศัยการหดตัวและการคลายตัวของกล้ามเนื้อที่ยึดติดอยู่กับกระดูกสันหลังทั้ง 2 ข้าง ทำงานในสภาวะตรงกันข้าม และมีครีบที่อยู่ในตำแหน่งต่างๆ ช่วยโบกพัดในการเคลื่อนที่ นกเคลื่อนที่โดยอาศัยการหดตัวและการคลายตัวของกล้ามเนื้อกดปีกกับกล้ามเนื้อยกปีกซึ่งทำงานในสภาวะตรงกันข้าม
7. กระดูกเป็นเนื้อเยื่อที่ใช้ค้ำจุนและทำหน้าที่ในการเคลื่อนไหวของร่างกาย แบ่งตามตำแหน่งได้เป็นกระดูกแกนและกระดูกรยางค์ บริเวณที่กระดูกตั้งแต่ 2 ชิ้นมาต่อกัน เรียกว่า ข้อต่อ และยึดกันด้วยเอ็นยึดข้อ
8. กล้ามเนื้อในร่างกายมนุษย์แบ่งออกเป็นกล้ามเนื้อโครงร่าง กล้ามเนื้อหัวใจ และกล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อทั้ง 3 ชนิดพบในตำแหน่งที่ต่างกันและมีหน้าที่แตกต่างกัน
9. มนุษย์เคลื่อนไหวโดยอาศัยการทำงานของกระดูกและกล้ามเนื้อโครงร่างซึ่งยึดกันด้วยเอ็นยึดกระดูก กล้ามเนื้อโครงร่างทำงานเป็นคู่ในสภาวะตรงกันข้าม เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวจะเกิดแรงดึงทำให้กระดูกเคลื่อนไหวได้ และมีข้อต่อช่วยควบคุมทิศทางการเคลื่อนไหวของกระดูก
10. การหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่างเกิดจากการเลื่อนของแอกทินเข้าหากันตรงกลาง ซึ่งต้องอาศัย ATP และแคลเซียม และเมื่อไม่มีการกระตุ้นจากเซลล์ประสาท กล้ามเนื้อจะคลายตัว

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 19

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.... 1.1 การเคลื่อนที่ของหมึกเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อบริเวณลำตัว ทำให้น้ำภายในลำตัวพ่นออกทางไซฟอน หมึกจึงเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับน้ำที่พ่นออกมา

....

.... 1.2 ขณะที่กล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์คลายตัว กล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์หดตัว จะทำให้ขาของแมลงงอเข้า

....

.... 1.3 การเคลื่อนที่ของสัตว์มีกระดูกสันหลังเกิดจากการทำงานร่วมกันของกระดูกและกล้ามเนื้อ โดยมีระบบประสาททำหน้าที่ควบคุม

....

.... 1.4 การบีบตัวและคลายตัวของหัวใจเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบ

....

.... 1.5 กระดูกบางชิ้นในทารกแรกเกิดยังไม่เชื่อมประสานกันทำให้จำนวนชิ้นของกระดูกมีมากกว่าในผู้ใหญ่

....

.... 1.6 เนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ยึดระหว่างกระดูก 2 ชิ้นบริเวณข้อต่อ เรียกว่า เอ็นยึดกระดูก

....

.... 1.7 ถ้าระบบประสาทโซมาติกถูกทำลาย จะทำให้กล้ามเนื้อหัวใจและกล้ามเนื้อโครงร่างไม่สามารถทำงานได้

....

.... 1.8 ข้อต่อที่บริเวณหัวไหล่เป็นข้อต่อชนิดเดียวกับข้อต่อที่ต้นคอกับฐานของกะโหลกศีรษะ

....

.... 1.9 เมื่อพิจารณาในแต่ละซาร์โคเมียร์ การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อเกิดจากการเลื่อนของแอกทินและไมโอซิน

....

.... 1.10 ผู้ป่วยที่มีอาการโรคข้อเข่าเสื่อมแบบที่มีน้ำไขข้อลดลง เมื่อเคลื่อนไหวจะทำให้กระดูกในบริเวณเข่าเสียดสีกัน และเกิดอาการเจ็บปวด

....

.... 1.11 ขณะเอื้อมมือไปหยิบของ กล้ามเนื้อไบเซพจะหดตัวและกล้ามเนื้อไตรเซพจะคลายตัว

....

.... 1.12 แคลเซียมไอออนที่ปล่อยจากซาร์โคพลาสมิกเรติคูลัมจะจับกับโปรตีนควบคุม ทำให้ไมโอซินจับกับแอกทินได้ เกิดการเลื่อนของแอกทินเข้าหากันและทำให้กล้ามเนื้อหดตัว

....

.... 1.13 การกระตุ้นโดยเซลล์ประสาททำให้กล้ามเนื้อหดตัว และเมื่อไม่มีการกระตุ้นจะทำให้กล้ามเนื้อคลายตัว

....

2. การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ได้แก่ อะมีบา พารามีเซียม ยูกลีนา เหมือนหรือแตกต่างกัน และมีความสัมพันธ์กับออร์แกเนลล์ภายในเซลล์หรือไม่ อย่างไร

3. เพราะเหตุใดการออกกำลังกายที่ใช้กล้ามเนื้อโครงร่าง เช่น การวิ่ง ว่ายน้ำจึงต้องการพลังงานจากการสลายสารอาหารระดับเซลล์มาก

4. เพราะเหตุใดภายหลังคนตายเพียงไม่กี่ชั่วโมง จึงเกิดอาการแข็งตัวของกล้ามเนื้อทั่วร่างกาย

บทที่ 20 | ระบบต่อมไร้ท่อ

ipst.me/10776



เมื่ออยู่ในภาวะที่ตื่นตัวหรือมีความรู้สึกในทางบวก เช่น ขณะเชียร์กีฬา หรือชมดนตรี ทำให้รู้สึกผ่อนคลาย ปลอดภัย และมีความสุข ร่างกายจะหลั่งฮอร์โมนแห่งความสุข เช่น เอนดอร์ฟิน ทำให้รู้สึกร่าเริง แจ่มใส มีชีวิตชีวา อารมณ์ดี แต่เมื่ออยู่ในภาวะเครียด เช่น โกรธ ตื่นเต้น ตกใจ ร่างกายจะหลั่งอะดรีนาลีนทำให้เกิดการตอบสนองว่าจะสู้หรือหนี เพื่อตอบโต้กับสถานการณ์ฉุกเฉินและป้องกันตัวได้ นอกจากนี้ร่างกายสามารถสร้างฮอร์โมนชนิดอื่น ๆ จากต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อ เพื่อทำหน้าที่ควบคุม เชื่อมโยง สื่อสารและประสานงานระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายให้มีดุลยภาพ **ต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อในร่างกายประสานงานและควบคุมให้ร่างกายอยู่ในดุลยภาพได้อย่างไร**

คำถามสำคัญ

1. ระบบต่อมไร้ท่อมีความสำคัญต่อการรักษาดุลยภาพของร่างกายอย่างไร

2. ฮอร์โมนที่สร้างหรือหลั่งจากต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อมีอะไรบ้าง ทำหน้าที่ควบคุมและประสานการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายให้อยู่ในดุลยภาพได้อย่างไร

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการทำงานร่วมกันของระบบต่อมไร้ท่อและระบบประสาท
2. ระบุตำแหน่งของต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อที่สำคัญในร่างกายที่ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน
3. สืบค้นข้อมูลและอธิบายเกี่ยวกับประเภทและหน้าที่ของฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อที่สร้างฮอร์โมน
4. ยกตัวอย่างและอธิบายการทำงานร่วมกันของฮอร์โมนหลายชนิดในการรักษาดุลยภาพของร่างกาย
5. อธิบายและเขียนแผนผังการจัดกลุ่มฮอร์โมนชนิดต่าง ๆ ตามการทำงานของฮอร์โมน
6. อธิบายอาการผิดปกติของร่างกายหรือโรคที่เกิดจากการมีฮอร์โมนปริมาณมากหรือน้อยเกินไป

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. ฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อถูกลำเลียงไปส่วนต่าง ๆ ของร่างกายโดยระบบหมุนเวียนเลือด และกำจัดออกจากร่างกายโดยระบบน้ำเหลือง
2. ฮอร์โมนเพศทำหน้าที่ควบคุมการแสดงออกของลักษณะทางเพศที่แตกต่างกัน
3. รังไข่ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนเพศ คือ เทสโทสเทอโรน อีสโทรเจน และโพรเจสเทอโรน
4. ยาคุมกำเนิดเป็นฮอร์โมนสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างคล้ายฮอร์โมนเพศหญิง
5. อีสโทรเจนและเทสโทสเทอโรนเป็นฮอร์โมนที่สังเคราะห์มาจากคอเลสเตอรอล
6. อีสโทรเจนและโพรเจสเทอโรนเป็นฮอร์โมนกลุ่มสเตอรอยด์
7. การควบคุมสมดุลของน้ำในร่างกายเกี่ยวข้องกับแอนติไดยูเรติกฮอร์โมน (ADH) ซึ่งกระตุ้นให้ท่อขดส่วนปลายของหน่วยไตและท่อรวมดูดกลับน้ำคืนเข้าสู่หลอดเลือด ทำให้ปริมาณน้ำในเลือดสมดุล
8. การควบคุมสมดุลของโซเดียม โพแทสเซียม และฟอสเฟตเกี่ยวข้องกับแอลโดสเทอโรนจากไต โดยกระตุ้นให้มีการดูดกลับสารต่าง ๆ เข้าสู่หลอดเลือด

มนุษย์และสัตว์มีกระดูกสันหลัง รวมทั้งสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหลายชนิดมีต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อที่สร้างสารเคมีและลำเลียงสารเหล่านี้โดยระบบหมุนเวียนเลือดไปยัง**อวัยวะเป้าหมาย** (target organ) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ไกลออกไปเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น ระบบสืบพันธุ์ ระบบขับถ่าย ตลอดจนกระบวนการเมแทบอลิซึม เรียกสารเคมีกลุ่มนี้ว่า **ฮอร์โมน** (hormone) ซึ่งมีความสำคัญต่อการควบคุมดุลยภาพของร่างกาย **ฮอร์โมนผลิตจากที่ใด ลำเลียงไปยังอวัยวะเป้าหมายและออกฤทธิ์ได้อย่างไร ฮอร์โมนมีการทำงานร่วมกับระบบใดในการควบคุมดุลยภาพของร่างกาย**

20.1 การทำงานร่วมกันของระบบต่อมไร้ท่อและระบบประสาท

ในการทำงานของระบบประสาทมีเซลล์ประสาทสร้างสารสื่อประสาทเพื่อถ่ายทอดกระแสประสาทไปยังเซลล์เป้าหมาย การควบคุมการตอบสนองของร่างกายโดยระบบประสาทเกิดขึ้นและสิ้นสุดอย่างรวดเร็ว เช่น เมื่อมือสัมผัสกับของร้อนจะมีการดึงมือกลับทันที ในขณะที่**ระบบต่อมไร้ท่อ** (endocrine system) จะสร้างฮอร์โมนแล้วลำเลียงผ่านระบบหมุนเวียนเลือดไปยังเซลล์เป้าหมายที่มีตัวรับที่จำเพาะต่อฮอร์โมน ซึ่งการตอบสนองของร่างกายจะเกิดช้าแต่มีผลต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่น การเจริญเติบโตเข้าสู่วัยหนุ่มสาวถูกควบคุมโดยฮอร์โมนเพศ

ระบบต่อมไร้ท่อและระบบประสาทจะทำงานร่วมกันในการควบคุมดุลยภาพของร่างกาย โดยมีไฮโพทาลามัสซึ่งเป็นส่วนของสมองส่วนหน้าทำหน้าที่สร้างและหลั่งฮอร์โมนประสาทมาควบคุมการหลั่งฮอร์โมนของต่อมใต้สมอง ควบคุมการเต้นของหัวใจและ ความดันเลือด ควบคุมความต้องการพื้นฐานของร่างกาย เช่น น้ำ อาหาร และการพักผ่อน

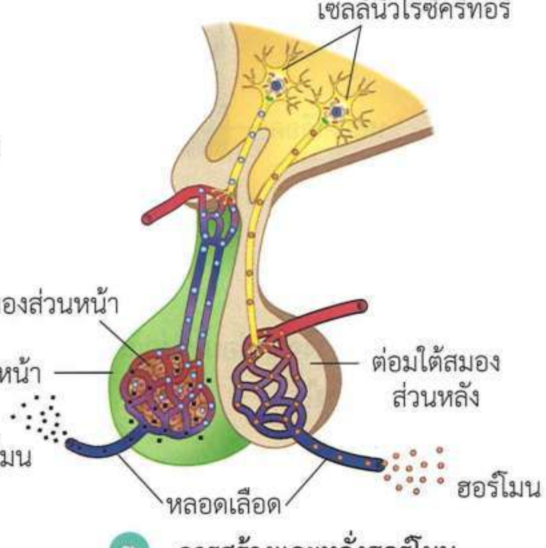
ไฮโพทาลามัส (hypothalamus) มีตำแหน่งอยู่ติดกับต่อมใต้สมอง (รูป 20.1 ก.) เป็นตัวเชื่อมการทำงานระหว่างระบบประสาทและระบบต่อมไร้ท่อตั้งแต่การเจริญเติบโตในระยะเอ็มบริโอ ไฮโพทาลามัสมีความสำคัญในการสร้างฮอร์โมนหลายชนิดมาควบคุมการทำงานของต่อมใต้สมอง สารที่ไฮโพทาลามัสสร้างแบ่งได้ดังนี้

1. สารสื่อประสาท (neurotransmitter) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายทอดกระแสประสาทจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง เช่น อะเซทิลโคลีน เอนดอร์ฟิน และนอร์เอพิเนฟริน

2. ฮอร์โมนประสาท (neurohormone) สร้างจากเซลล์ประสาทที่เรียกว่า **เซลล์นิวโรซีครีทอรี** (neurosecretory cell) ในไฮโพทาลามัส ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ**ต่อมใต้สมองส่วนหน้า** (anterior pituitary gland) โดยทำหน้าที่เป็น**ฮอร์โมนกระตุ้น** (releasing hormone) หรือ**ฮอร์โมนยับยั้ง** (inhibiting hormone) เช่น TRH (thyroid-releasing hormone) และ TIH (thyroid-inhibiting hormone) ซึ่งฮอร์โมนเหล่านี้จะถูกลำเลียงโดยหลอดเลือดจากไฮโพทามัสมายังต่อมใต้สมองส่วนหน้า นอกจากนี้เซลล์นิวโรซีครีทอรีในไฮโพทาลามัสยังมีปลายแอกซอนอยู่ใน**ต่อมใต้สมองส่วนหลัง** (posterior pituitary gland) ซึ่งทำหน้าที่หลั่งฮอร์โมน ได้แก่ ADH และออกซิโทซิน ดังรูป 20.1 ข.



ก. **ตำแหน่งของไฮโพทาลามัสกับต่อมใต้สมอง**



ข. **การสร้างและหลั่งฮอร์โมน**

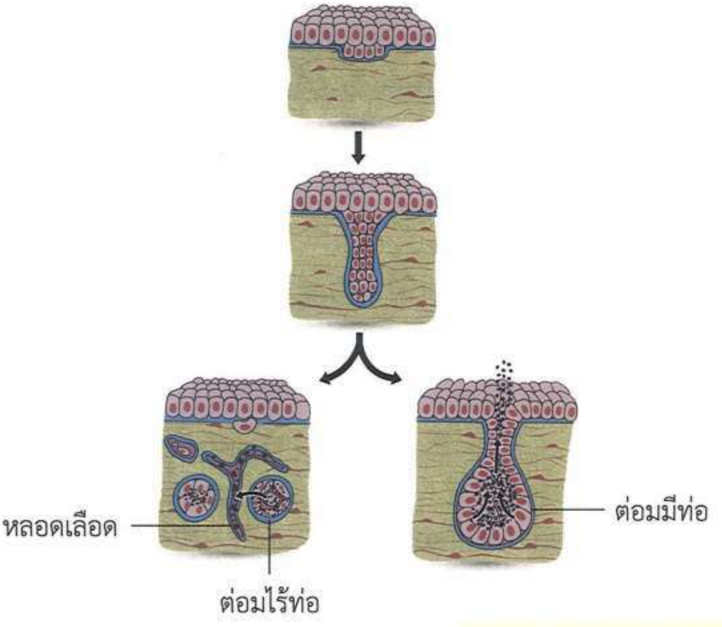
รูป 20.1 ความสัมพันธ์ระหว่างไฮโพทาลามัสกับต่อมใต้สมองในการสร้างและหลั่งฮอร์โมน

รู้หรือไม่

ฮอร์โมนพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ ส่วนสารสื่อประสาทพบเฉพาะในสัตว์เท่านั้น

20.2 ต่อมไร้ท่อ

ต่อมไร้ท่อ (endocrine gland) เช่น ต่อมใต้สมอง ต่อมหมวกไต โครงสร้างของต่อมประกอบด้วยเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนโดยจะไม่มีท่อสำหรับลำเลียงสารแต่มีการลำเลียงผ่านระบบหมุนเวียนเลือด ซึ่งแตกต่างจาก**ต่อมมีท่อ** (exocrine gland) เช่น ต่อมน้ำลาย ต่อมเหงื่อ ต่อมน้ำตา และต่อมสร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ ต่อมเหล่านี้จะมีท่อลำเลียงสารต่าง ๆ ที่ต่อมสร้างขึ้น ดังรูป 20.2

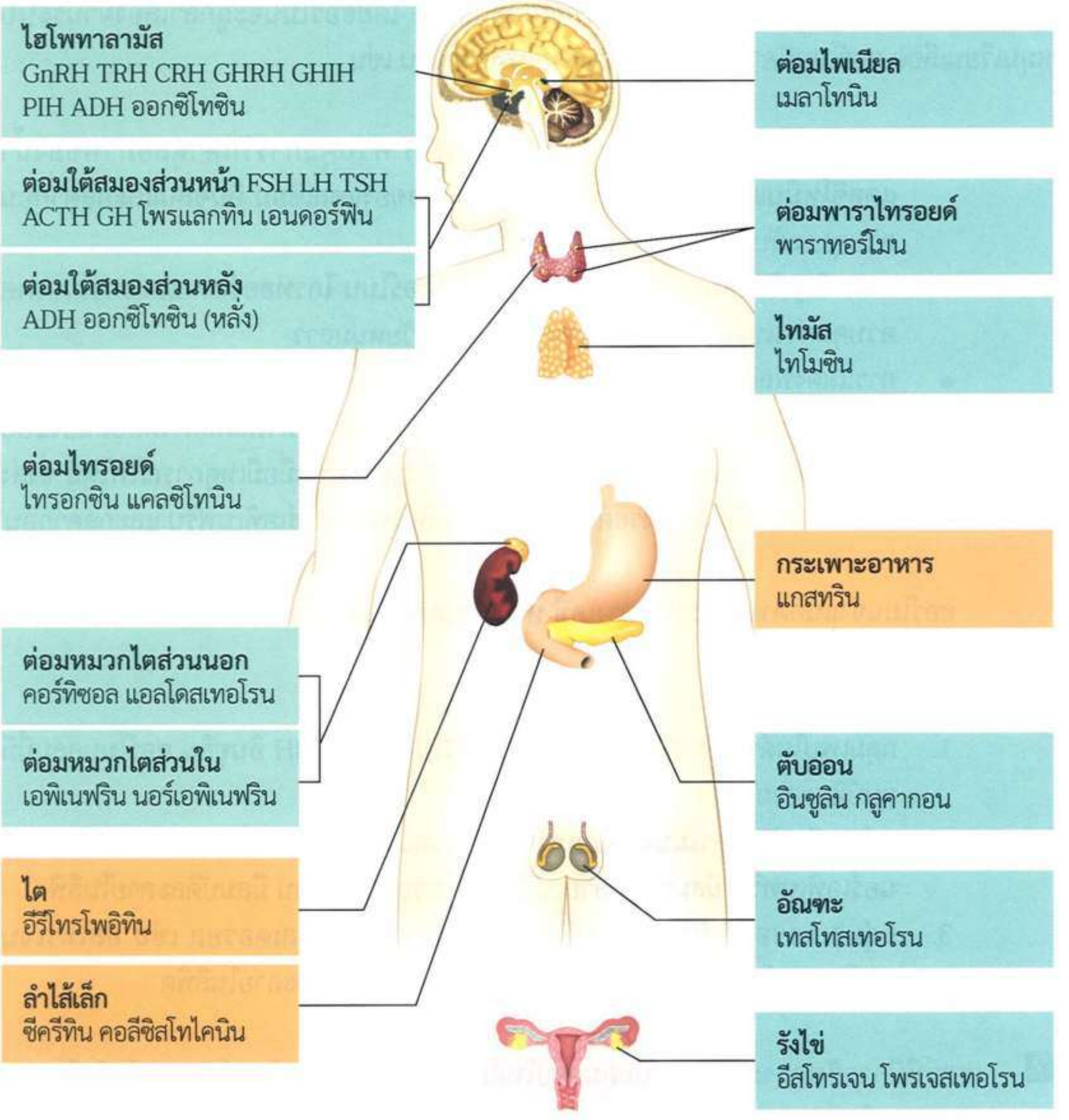


รูป 20.2 การเกิดต่อมไร้ท่อและต่อมมีท่อ

? จากรูปสารที่สร้างจากต่อมไร้ท่อและต่อมมีท่อมีการลำเลียงไปสู่อวัยวะเป้าหมายเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

โดยทั่วไปต่อมไร้ท่อสร้างและหลั่งฮอร์โมนซึ่งเป็นสารเคมี แต่ไม่มีท่อลำเลียงออกจากต่อม ต้องอาศัยระบบหมุนเวียนเลือดช่วยลำเลียงไปยังเซลล์เป้าหมาย ต่อมไร้ท่อจึงมีหลอดเลือดมาหล่อเลี้ยงจำนวนมาก เพื่อลำเลียงฮอร์โมนที่สร้างขึ้นออกสู่ระบบหมุนเวียนเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ **ต่อมไร้ท่อของมนุษย์มีอะไรบ้าง ต่อมเหล่านี้สร้างฮอร์โมนอะไรและไปมีผลต่อการทำงานของร่างกายอย่างไร**

ต่อมไร้ท่อของมนุษย์มีหลายต่อม แต่ละต่อมกระจายอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย ซึ่งสร้างและหลั่งฮอร์โมนที่มีหน้าที่แตกต่างกัน นอกจากต่อมไร้ท่อยังมีเนื้อเยื่อของร่างกายที่สามารถสร้างฮอร์โมนได้เช่นกัน เช่น ไต เนื้อเยื่อชั้นในของกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ดังรูป 20.3



รูป 20.3 ต่อมไร้ท่อ และเนื้อเยื่อที่สำคัญในการสร้างฮอร์โมนของมนุษย์

20.3 ฮอร์โมนและการทำงานของฮอร์โมน

ฮอร์โมนสร้างและหลั่งจากต่อมไร้ท่อหรือเนื้อเยื่อซึ่งกระจายอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วร่างกาย มีผลควบคุมการทำงานของเซลล์เป้าหมายที่อยู่ไกลออกไป โดยฮอร์โมนจะถูกลำเลียงผ่านระบบหมุนเวียนเลือด ฮอร์โมนมีความสำคัญต่อร่างกายในหลายด้าน เช่น

- การรักษาดุลยภาพของร่างกาย เช่น ADH ควบคุมการรักษาดุลยภาพของน้ำ แคลซิโทนินและพาราทอร์โมน ควบคุมสมดุลของแคลเซียม อินซูลินและกลูคากอน ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด
- การเจริญเติบโตของร่างกาย เช่น ไทรอยด์ฮอร์โมน โกรทฮอร์โมนและฮอร์โมนเพศ ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของร่างกายเมื่อเข้าสู่วัยหนุ่มสาว
- การแสดงพฤติกรรมต่าง ๆ เช่น ช่วยในการปรับตัวต่อภาวะเครียด ช่วยให้เกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตแต่ละตัวรวมถึงการอยู่รอดของสายพันธุ์ ทำให้เกิดการตอบสนองแบบสู้หรือหนี เช่น ในกรณีเหยื่อหนีผู้ล่า หรือในภาวะฉุกเฉินเมื่อมีเหตุการณ์ไฟไหม้ ซึ่งส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับคอร์ทิซอล เอพิเนฟริน นอร์เอพิเนฟริน และกลูคากอน

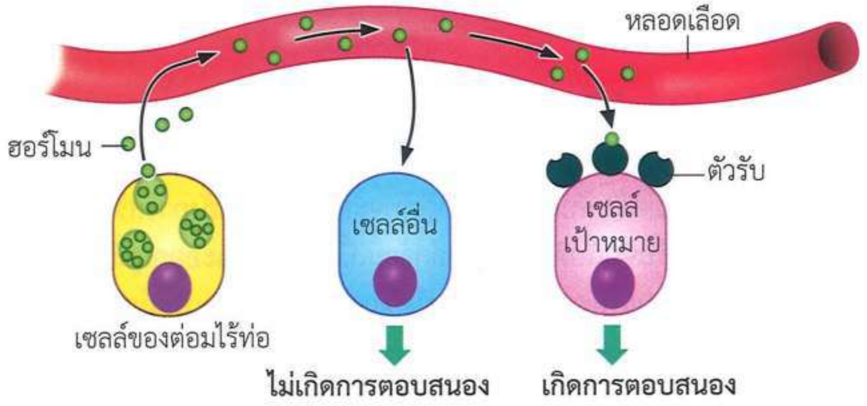
ฮอร์โมนจำแนกตามโครงสร้างทางเคมี หรืออาจแบ่งตามสมบัติการละลายในน้ำและละลายในลิพิดได้เป็นดังนี้

1. กลุ่มเพปไทด์หรือโปรตีน เช่น FSH LH TRH GH ADH อินซูลิน ฮอร์โมนกลุ่มนี้มีสมบัติละลายในน้ำ
2. กลุ่มเอมีนเป็นฮอร์โมนที่เป็นอนุพันธ์ของกรดแอมิโนหรือกรดไขมัน เช่น เอพิเนฟริน นอร์เอพิเนฟริน มีสมบัติละลายในน้ำ และไทรอยด์ฮอร์โมน มีสมบัติละลายในลิพิด
3. กลุ่มสเตอรอยด์เป็นฮอร์โมนที่สังเคราะห์มาจากคอเลสเตอรอล เช่น อีสโทรเจน เทสโทสเทอโรน โพรเจสเทอโรน ฮอร์โมนกลุ่มนี้มีสมบัติละลายในลิพิด

? เซลล์ที่มีการสังเคราะห์ฮอร์โมนกลุ่มเพปไทด์หรือโปรตีนควรจะมีออร์แกเนลล์ชนิดใดมาก เพราะเหตุใด

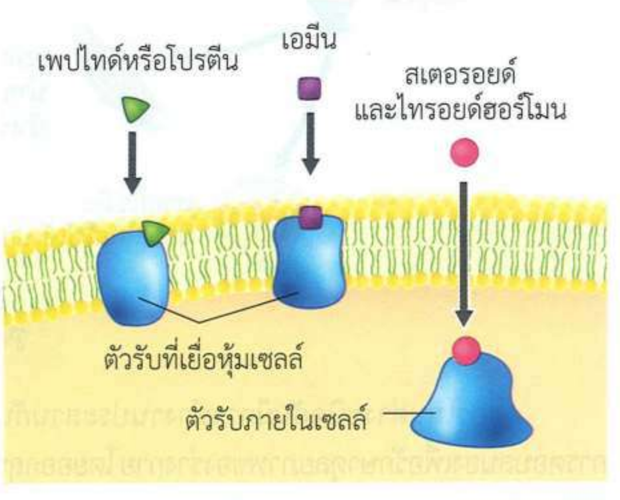
เมื่อฮอร์โมนถูกลำเลียงไปถึงอวัยวะเป้าหมายจะจับกับเซลล์เป้าหมายได้อย่างไร

ฮอร์โมนที่แพร่ออกจากระบบหมุนเวียนเลือดจะไปจับกับตัวรับที่เซลล์เป้าหมายที่จำเพาะกับฮอร์โมนนั้น ๆ ฮอร์โมนจึงจะสามารถออกฤทธิ์ที่เซลล์เป้าหมายได้ การจับกันของฮอร์โมนกับเซลล์เป้าหมายจึงจับกันอย่างจำเพาะเปรียบเหมือนกับลูกกุญแจที่มีรูปร่างเข้ากันได้กับแม่กุญแจพอดี จึงทำให้ฮอร์โมนสามารถออกฤทธิ์ได้ ส่วนเซลล์ใดที่ไม่ใช่เซลล์เป้าหมายของฮอร์โมนนั้นจะไม่มีตัวรับ ทำให้ฮอร์โมนไม่สามารถออกฤทธิ์ต่อเซลล์นั้นได้ ดังรูป 20.4



รูป 20.4 การออกฤทธิ์ของฮอร์โมนต่อเซลล์เป้าหมาย

ตัวรับที่เซลล์เป้าหมายพบได้ที่เยื่อหุ้มเซลล์และภายในเซลล์ ซึ่งฮอร์โมนที่ละลายในน้ำ เช่น ฮอร์โมนที่เป็นเพปไทด์หรือโปรตีน เอมีนบางชนิด เช่น เอพิเนฟริน นอร์เอพิเนฟริน จะจับกับตัวรับบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ส่วนฮอร์โมนที่ละลายในลิพิด เช่น ฮอร์โมนที่เป็นสเตอรอยด์และเอมีนบางชนิด เช่น ไทรอยด์ฮอร์โมนจะจับกับตัวรับที่อยู่ภายในเซลล์ ดังรูป 20.5



รูป 20.5 ตัวรับฮอร์โมนที่เซลล์เป้าหมาย

? เพราะเหตุใด ฮอร์โมนกลุ่มเพปไทด์หรือโปรตีนจึงมีตัวรับอยู่ที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์

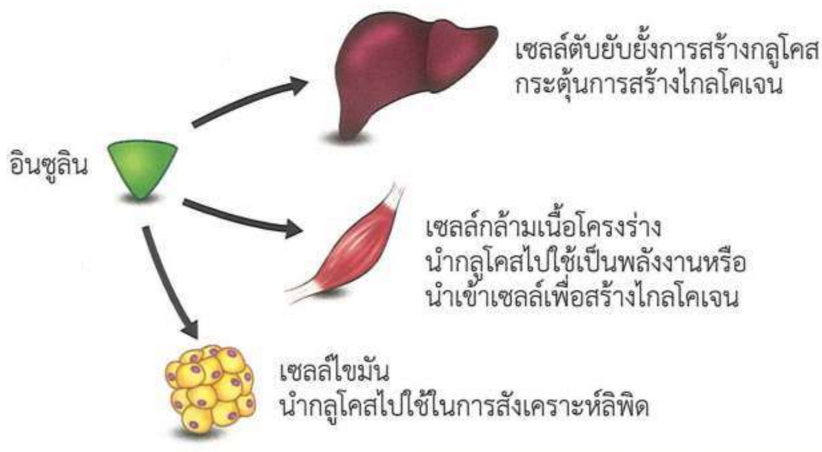
? เพราะเหตุใด อีสโทรเจนจึงเข้าไปจับกับตัวรับที่อยู่ภายในเซลล์เป้าหมายได้

ตรวจสอบความเข้าใจ

? เอพิเนฟรินมีตัวรับอยู่บริเวณใดของเซลล์เป้าหมายและตำแหน่งของตัวรับมีความสัมพันธ์กับสมบัติการละลายของเอพิเนฟรินอย่างไร

ฮอร์โมนมีผลต่อเซลล์เป้าหมายอย่างไร

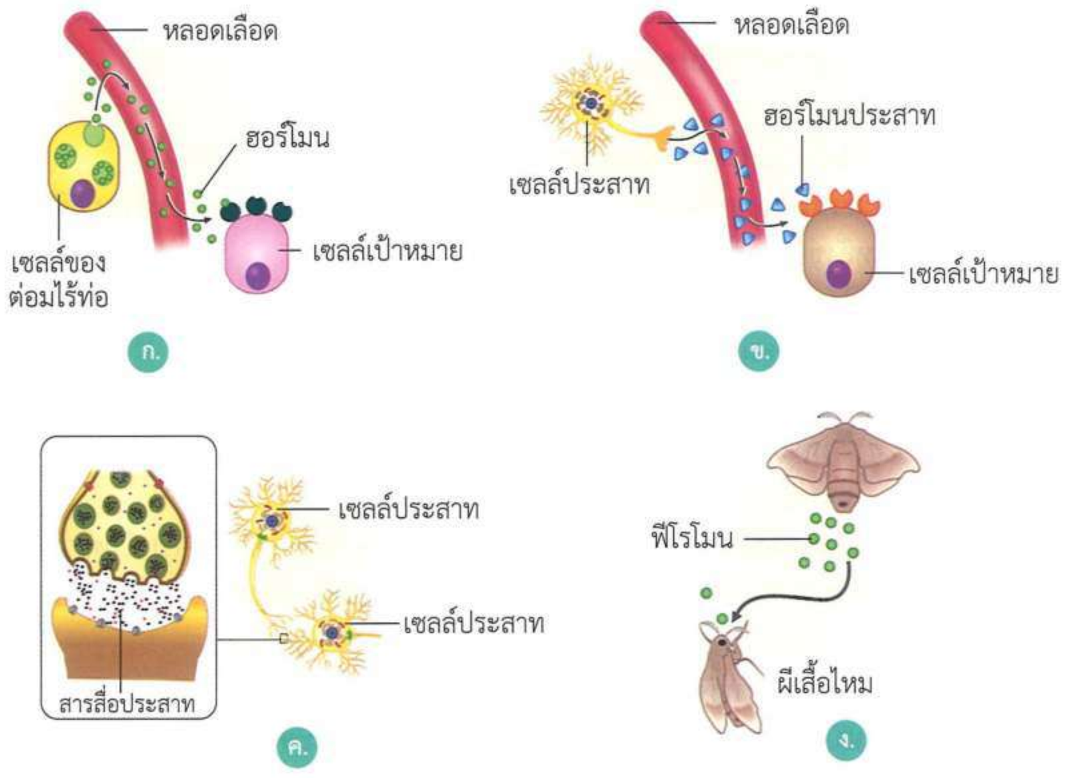
ฮอร์โมนชนิดเดียวกันมีผลต่อเซลล์เป้าหมายได้หลายชนิด และออกฤทธิ์ให้มีการตอบสนองที่แตกต่างกัน เช่น อินซูลินเมื่อจับกับตัวรับที่เซลล์ตับจะออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างกลูโคสแต่จะกระตุ้นการสร้างไกลโคเจน ถ้าอินซูลินจับกับตัวรับที่เซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างจะออกฤทธิ์ให้นำกลูโคสไปใช้เป็นพลังงานหรือเก็บสะสมไว้ในรูปไกลโคเจนเพื่อใช้ในเวลาจำเป็น และถ้าอินซูลินจับกับตัวรับที่เซลล์ไขมันจะออกฤทธิ์ให้นำกลูโคสไปใช้ในการสังเคราะห์ลิพิด ดังรูป 20.6



รูป 20.6 การออกฤทธิ์ของอินซูลินต่อเซลล์เป้าหมาย

ฮอร์โมนต่างชนิดกันมีการทำงานประสานกันในการออกฤทธิ์ต่อเซลล์เป้าหมายทำให้เกิดการตอบสนองเพื่อรักษาดุลยภาพของร่างกาย โดยออกฤทธิ์ตรงข้ามกัน เช่น เมื่อระดับแคลเซียมในเลือดสูงแคลซิโทนินจะกระตุ้นการสะสมแคลเซียมที่กระดูก ในขณะที่ถ้าระดับแคลเซียมในเลือดต่ำพาราทอร์โมนจะเพิ่มการสลายแคลเซียมออกจากกระดูก

นอกจากฮอร์โมน ฮอร์โมนประสาท และสารสื่อประสาทซึ่งเป็นสารเคมีที่สัตว์สร้างขึ้นเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายแล้ว นักวิทยาศาสตร์ยังได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้สื่อสารระหว่างสัตว์สปีชีส์เดียวกัน เรียกว่า **ฟีโรโมน** (pheromone) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ผลิตจากต่อมมีท่อของสัตว์ที่สร้างออกมาแล้วไม่มีผลต่อร่างกายของสัตว์เองแต่ไปมีผลต่อสัตว์ตัวอื่นในสปีชีส์เดียวกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระและพฤติกรรม ดังรูป 20.7



รูป 20.7 การควบคุมดุลยภาพของร่างกายด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ
ก. ฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อ ข. ฮอร์โมนประสาทสร้างจากเซลล์ประสาท
ค. สารสื่อประสาทสร้างจากเซลล์ประสาท ง. ฟีโรโมนสร้างจากต่อมมีท่อ

? จากรูป 20.7 การลำเลียงสารเคมีไปยังเซลล์เป้าหมายมีความแตกต่างกันอย่างไร

? ความเร็วของการตอบสนองของฮอร์โมนและสารสื่อประสาทที่เซลล์เป้าหมายมีความแตกต่างกันอย่างไร

? ฟีโรโมนเหมือนหรือแตกต่างจากฮอร์โมนอย่างไร

การทำงานของฮอร์โมน

ฮอร์โมนที่ร่างกายผลิตมีหลายชนิด ทำหน้าที่แตกต่างกันและออกฤทธิ์ที่เซลล์เป้าหมายต่างกัน สามารถแบ่งฮอร์โมนเป็นกลุ่มต่าง ๆ ตามการทำงานของฮอร์โมนได้ดังนี้

1. ฮอร์โมนที่ควบคุมการสร้างและหลั่งฮอร์โมนชนิดอื่น
2. ฮอร์โมนที่ควบคุมและเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึม
3. ฮอร์โมนที่ควบคุมการสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต
4. ฮอร์โมนที่ควบคุมการรักษาดุลยภาพของน้ำและแร่ธาตุ
5. ฮอร์โมนที่ทำหน้าที่อื่น ๆ

1. ฮอร์โมนที่ควบคุมการสร้างและหลั่งฮอร์โมนชนิดอื่น

ฮอร์โมนส่วนใหญ่ที่สร้างจากไฮโพทาลามัสและต่อมใต้สมองส่วนหน้าทำหน้าที่ควบคุมการสร้างและการหลั่งของฮอร์โมนชนิดอื่น ดังรูป 20.8 ได้แก่

1.1 **ฮอร์โมนจากไฮโพทาลามัส** ทำหน้าที่กระตุ้นและยับยั้งการสร้างและการหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ได้แก่

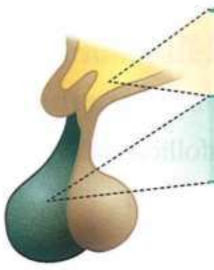
- **โกนาโดโทรฟินรีลีสซิงฮอร์โมน** (gonadotrophin-releasing hormone; GnRH) ทำหน้าที่ควบคุมการสร้างและหลั่งโกนาโดโทรฟิน (gonadotrophin; Gn) จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า
- **ไทรอยด์รีลีสซิงฮอร์โมน** (thyroid-releasing hormone; TRH) ทำหน้าที่กระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้สร้างและหลั่งไทรอยด์สติมิวเลติงฮอร์โมน (thyroid-stimulating hormone; TSH)
- **คอร์ทิโคโทรพินรีลีสซิงฮอร์โมน** (corticotropin-releasing hormone; CRH) ทำหน้าที่กระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้สร้างและหลั่งอะดรีโนคอร์ทิโคโทรพิกฮอร์โมน (adrenocorticotropic hormone; ACTH)
- **โกรทฮอร์โมนรีลีสซิงฮอร์โมน** (growth hormone-releasing hormone; GHRH) ทำหน้าที่กระตุ้นการสร้างและหลั่งโกรทฮอร์โมน (growth hormone; GH) จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า
- **โกรทฮอร์โมนอินฮิบิทิงฮอร์โมน** (growth hormone-inhibiting hormone; GHIH) ทำหน้าที่ยับยั้งการสร้างและหลั่งโกรทฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า
- **โดพามีน** (dopamine) หรือโพรแลกทินอินฮิบิทิงฮอร์โมน (prolactin-inhibiting hormone; PIH) ทำหน้าที่ยับยั้งการสร้างและหลั่ง**โพรแลกทิน** (prolactin) จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า

นอกจากนี้ไฮโพทาลามัสยังสร้างและหลั่งฮอร์โมนประสาทโดยสะสมไว้ที่ปลายแอกซอนในต่อมใต้สมองส่วนหลัง เมื่อถูกกระตุ้นจะมีการหลั่งฮอร์โมนประสาทและไปมีผลต่ออวัยวะเป้าหมายโดยตรง ได้แก่

- **แอนติไดยูเรติกฮอร์โมน** (antidiuretic hormone; ADH) หรือวาโซเพรสซิน (vasopressin) ทำหน้าที่ควบคุมดุลยภาพของน้ำ
- **ออกซิโทซิน** (oxytocin) ทำให้กล้ามเนื้อเรียบที่มดลูกบีบตัว และกระตุ้นการหลั่งน้ำนม

1.2 **ฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า** ทำหน้าที่ควบคุมการสร้างและการหลั่งฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่ออื่น ๆ ได้แก่

- Gn ประกอบด้วย **ฟอลลิเคิลสติมิวเลทิงฮอร์โมน** (follicle-stimulating hormone; FSH) และ**ลูทิไนซิงฮอร์โมน** (luteinizing hormone; LH) ทำหน้าที่กระตุ้นรังไข่และอัณฑะให้สร้างฮอร์โมนเพศ
- TSH ทำหน้าที่กระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้หลั่งฮอร์โมนเป็นปกติ
- ACTH ทำหน้าที่กระตุ้นต่อมหมวกไตส่วนนอกให้หลั่งฮอร์โมนเป็นปกติ



ฮอร์โมนจากไฮโพทาลามัส	GnRH	TRH	CRH	GHRH	GHIH	PIH
ฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า	Gn (FSH LH)	TSH	ACTH	GH		โพรแลกทิน
อวัยวะเป้าหมาย	รังไข่ และอัณฑะ	ต่อมไทรอยด์	ต่อมหมวกไตส่วนนอก	เซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย		ต่อมน้ำนม

รูป 20.8 ฮอร์โมนจากไฮโพทาลามัสและต่อมใต้สมองส่วนหน้า

? ความสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนจากไฮโพทาลามัสกับต่อมใต้สมองส่วนหน้าสามารถสรุปได้อย่างไร

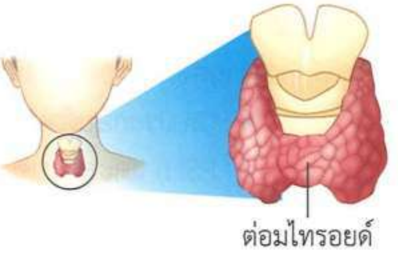
? ต่อมไร้ท่อใดที่ไม่ถูกควบคุมโดยต่อมใต้สมองส่วนหน้า

2. ฮอร์โมนที่ควบคุมและเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึม

เมแทบอลิซึมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตล้วนส่งผลต่อการรักษาดุลยภาพของร่างกายเนื่องจากเมแทบอลิซึมเป็นการสลายสารโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น การหายใจระดับเซลล์ การสลายโปรตีนเป็นกรดแอมิโน การสลายคาร์โบไฮเดรตเป็นกลูโคส การสลายลิพิดให้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล นอกจากนี้เมแทบอลิซึมยังเป็นการสังเคราะห์สาร เช่น การสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และลิพิด ซึ่งการควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมเหล่านี้ของร่างกายขึ้นอยู่กับการทำงานของฮอร์โมนหลายชนิด คือ กลุ่มฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ กลุ่มฮอร์โมนจากต่อมหมวกไต และกลุ่มฮอร์โมนจากตับอ่อน

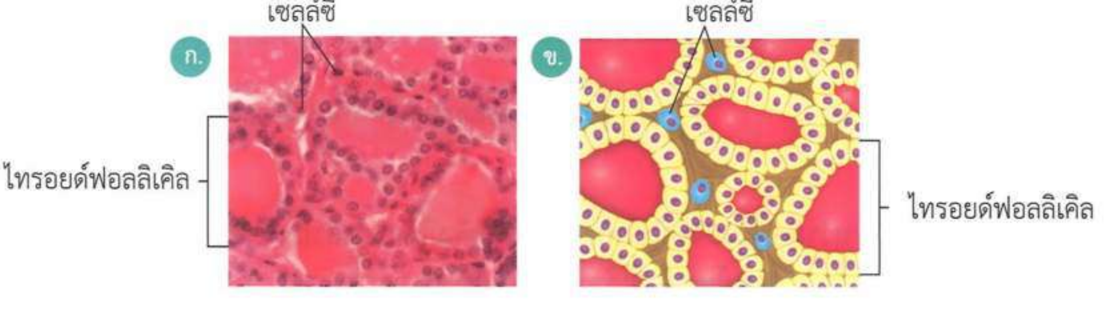
2.1 กลุ่มฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์

- **ต่อมไทรอยด์** (thyroid gland) เป็นต่อมไร้ท่อที่มีขนาดใหญ่ อยู่บริเวณลำคอติดกับกล่องเสียง มีลักษณะเป็นพู แบ่งเป็น 2 พู ดังรูป 20.9



รูป 20.9 ต่อมไทรอยด์

ต่อมไทรอยด์ประกอบด้วย**ไทรอยด์ฟอลลิเคิล** (thyroid follicle) จำนวนมากซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์ที่เรียงเป็นชั้นเดียว ดังรูป 20.10 ทำหน้าที่สร้างไทรอยด์ฮอร์โมนโดยใช้ไอโอดีนเป็นองค์ประกอบ ฮอร์โมนนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ**ไทรอกซิน** (thyroxine) แล้วปล่อยเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด นอกจากนี้ยังพบ**เซลล์ซี** (C-cell) หรือ**เซลล์พาราฟอลลิคิวลาร์** (parafollicular cell) อยู่ระหว่างไทรอยด์ฟอลลิเคิล ซึ่งสร้างฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลของแคลเซียม



รูป 20.10 ต่อมไทรอยด์แสดงไทรอยด์ฟอลลิเคิล
ก. รูปจากกล้องจุลทรรศน์ ข. รูปวาด

ไทรอกซินทำหน้าที่ควบคุมอัตราเมแทบอลิซึมของร่างกาย เช่น ควบคุมการสลายสารอาหาร เร่งการสลายลิพิด เร่งการสลายไกลโคเจน ควบคุมการเจริญเติบโตของร่างกายและการเจริญของสมอง เมื่อเกิดความผิดปกติเกี่ยวกับการสร้างไทรอกซินในวัยเด็กและผู้ใหญ่จึงส่งผลต่อร่างกายแตกต่างกัน

กรณีที่ต่อมไทรอยด์สร้างไทรอกซินได้น้อยกว่าปกติ (hypothyroidism) จะแสดงออกในผู้ป่วยที่เป็นเด็กและผู้ใหญ่แตกต่างกันคือ

การขาดไทรอกซินในวัยเด็กจะมีผลให้ร่างกายและสมองเจริญน้อยลง ทำให้ร่างกายเตี้ยแคระ แขน ขาสั้น ผิวหยาบแห้ง ผมบาง ปัญญาอ่อน กลุ่มอาการเช่นนี้เรียกว่า **เครทินิซึม** (cretinism) ดังรูป 20.11 ก.

การขาดไทรอกซินในผู้ใหญ่จะทำให้มีอาการเหนื่อยง่าย น้ำหนักเพิ่ม ทนความหนาวไม่ได้ กล้ามเนื้ออ่อนแรง หัวใจโต ร่างกายอ่อนแอ ติดเชื้อง่าย มีอาการซึม เฉื่อยชา และความจำเสื่อม กลุ่มอาการเช่นนี้เรียกว่า **มิกซีดีมา** (myxedema) ซึ่งจะมีลักษณะบวมที่บริเวณใบหน้า มือและเท้า รอบดวงตาบวมน้ำ หน้าหมองคล้ำ ผมและผิวหนังแห้ง ดังรูป 20.11 ข.



รูป 20.11 ผู้ป่วยที่มีกลุ่มอาการ
ก. เครทินิซึม ข. มิกซีดีมา

ในภาวะที่ร่างกายขาดไอโอดีนจะทำให้ต่อมไทรอยด์ไม่สามารถสร้างไทรอกซินได้ ผู้ป่วยจะมีอาการเหมือนมิกซีดีมาแต่จะพบต่อมไทรอยด์ขยายขนาดผิดปกติ ทำให้มีลักษณะคอโตหรือเรียกว่าโรคคอพอก ดังรูป 20.12 ก. เนื่องจากเมื่อต่อมใต้สมองส่วนหน้าหลั่ง TSH มากระตุ้นต่อมไทรอยด์มากเกินไปโดยที่ต่อมนี้ไม่สามารถสร้างไทรอกซินไปยับยั้งการหลั่ง TSH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้าหรือยับยั้งการหลั่ง TRH จากไฮโพทาลามัสได้ ทำให้ต่อมไทรอยด์ขยายขนาดผิดปกติ

โรคคอพอกอีกชนิดหนึ่งคือ **โรคคอพอกเป็นพิษ** (toxic goiter) เนื่องจากต่อมไทรอยด์ถูกกระตุ้นให้สร้างฮอร์โมนมากเกินไป (hyperthyroidism) ทำให้สร้างไทรอกซินออกมามากกว่าปกติ ผู้ที่เป็นโรคนี้คอจะไม่โตมากนักแต่บางคนอาจมีอาการตาโปนด้วย ดังรูป 20.12 ข. สาเหตุเนื่องจากความผิดปกติบางอย่างในร่างกายเป็นเหตุให้ต่อมไทรอยด์ถูกกระตุ้นให้ทำงานตลอดเวลา ต่อมจึงขยายโตขึ้น อาจรักษาได้โดยให้คนไข้กินยาที่ยับยั้งการสร้างฮอร์โมนหรือการผ่าตัดเอาบางส่วนของต่อมออก หรือให้กินสารไอโอดีนที่เป็นกัมมันตภาพรังสีเพื่อทำลายเนื้อเยื่อบางส่วนของต่อมไทรอยด์



รูป 20.12 อาการแสดงออกของคนที่เป็นโรคคอพอก
ก. คนที่เป็นโรคคอพอกที่เกิดจากการขาดธาตุไอโอดีน
ข. คนที่เป็นโรคคอพอกเป็นพิษอาจมีอาการตาโปน

? ไอโอดีนมีความเกี่ยวข้องกับต่อมไทรอยด์อย่างไร และถ้าขาดไอโอดีนจะส่งผลต่อร่างกายอย่างไร

2.2 กลุ่มฮอร์โมนจากต่อมหมวกไต

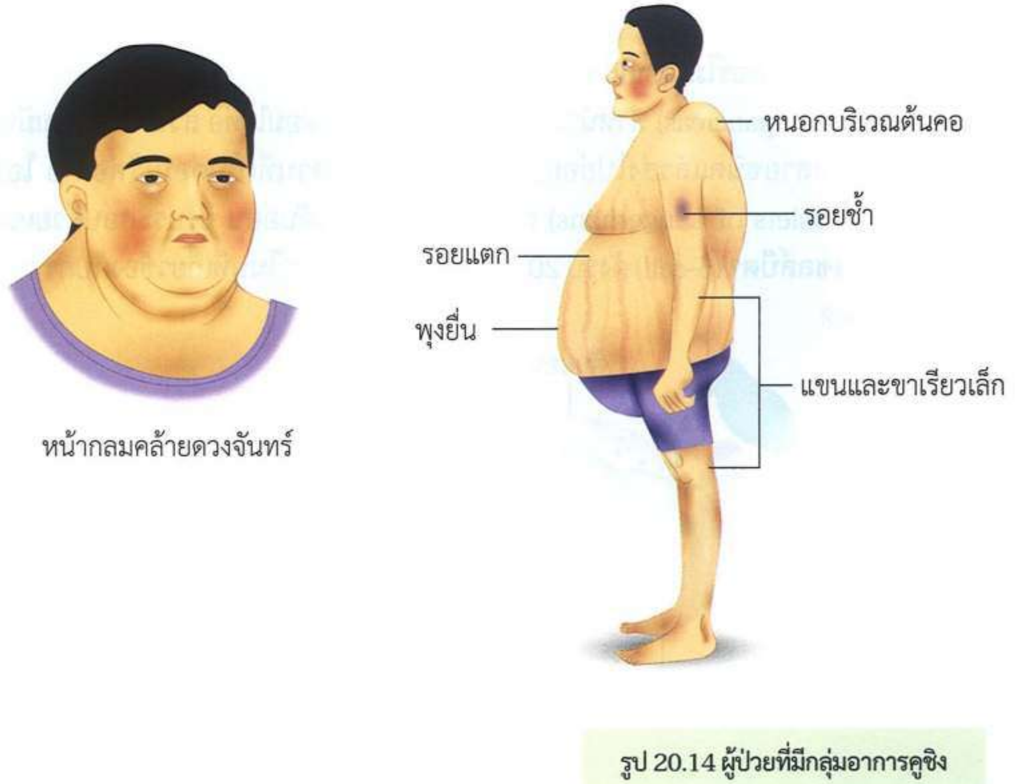
- **ต่อมหมวกไต** (adrenal gland) อยู่บริเวณเหนือไตทั้ง 2 ข้าง ต่อมนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อชั้นนอก เรียกว่า **ต่อมหมวกไตส่วนนอก** (adrenal cortex) และเนื้อเยื่อชั้นใน เรียกว่า **ต่อมหมวกไตส่วนใน** (adrenal medulla) ดังรูป 20.13



รูป 20.13 ตำแหน่งและโครงสร้างของต่อมหมวกไต
ก. รูปวาด ข. รูปจากกล้องจุลทรรศน์

กลูโคคอร์ทิคอยด์ (glucocorticoids) เป็นกลุ่มฮอร์โมนสร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอก ทำหน้าที่หลักในการควบคุมเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ตัวอย่างของฮอร์โมนกลุ่มนี้คือ **คอร์ทิซอล** (cortisol) มีหน้าที่สำคัญในการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด โดยกระตุ้นเซลล์ตับให้เปลี่ยนกรดแอมิโนและกรดไขมันเป็นคาร์โบไฮเดรตและเก็บสะสมไว้ในรูปของไกลโคเจน ทำให้ตับมีไกลโคเจนสะสมสำหรับเปลี่ยนเป็นกลูโคสส่งเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด

การมีกลูโคคอร์ทิคอยด์มากเกินไป ทำให้เกิด**กลุ่มอาการคูชิง** (Cushing's syndrome) ผู้ป่วยจะมีความผิดปกติเกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิพิด ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นเนื่องจากมีการสลายโปรตีนและลิพิดบริเวณแขนขา ขณะที่มีการสะสมลิพิดที่บริเวณแกนกลางของลำตัว ทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรง มีลักษณะแขนขาเรียวลีบ พุงยื่น ใบหน้ากลมคล้ายดวงจันทร์ บริเวณต้นคอมีหนอกยื่นออกมา ผิวบางเป็นรอยช้ำได้ง่ายและบางบริเวณมีรอยแตก เช่น หน้าท้อง ดังรูป 20.14 อาการเช่นนี้อาจพบได้ในผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยยาที่มีฮอร์โมนในกลุ่มนี้เป็นส่วนผสม เช่น คอร์ทิโคสเตอรอยด์ เพื่อป้องกันอาการแพ้หรืออักเสบติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ซึ่งฮอร์โมนนี้มีผลต่อการกดภูมิคุ้มกันของร่างกาย



รูป 20.14 ผู้ป่วยที่มีกลุ่มอาการคูชิง

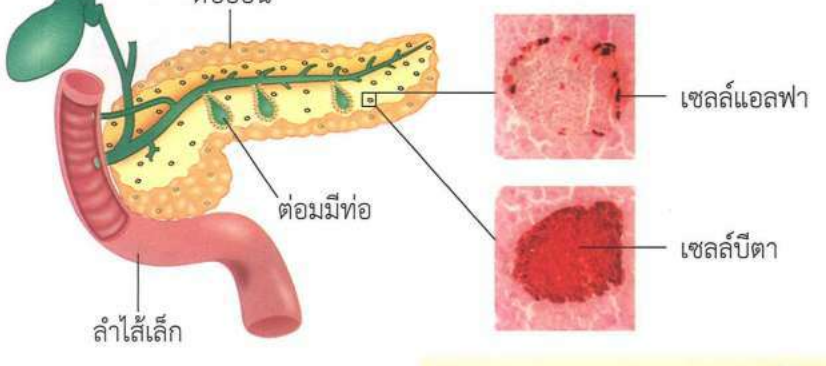
เอพิเนฟริน (epinephrine) หรือ**อะดรีนาลีน** (adrenaline) และ**นอร์เอพิเนฟริน** (norepinephine) หรือ**นอร์อะดรีนาลีน** (noradrenaline) เป็นฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมหมวกไตส่วนในและออกฤทธิ์เหมือนกันโดยกระตุ้นให้เพิ่มการสลายไกลโคเจนมีผลทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังกระตุ้นให้หัวใจเต้นเร็ว ความดันเลือดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบของอาร์เทอรีขนาดเล็กที่บริเวณหัวใจและกล้ามเนื้อโครงร่าง และมีการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบของอาร์เทอรีขนาดเล็กที่บริเวณทางเดินอาหารและไต

การหลั่งฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตส่วนในจะอยู่ภายใต้การควบคุมของระบบประสาทอัตโนวัติ ในภาวะปกติจะหลั่งทั้งเอพิเนฟรินและนอร์เอพิเนฟรินในปริมาณที่เหมาะสมกับร่างกาย ในกรณีที่มีภาวะคับขัน เช่น การขนของหนีไฟไหม้สามารถแบกหรือยกสิ่งของที่มีน้ำหนักมากได้ทั้งที่ในภาวะปกติไม่สามารถทำได้ เพราะต่อมหมวกไตส่วนในจะถูกกระตุ้นให้หลั่งเอพิเนฟรินออกมามากกว่าปกติ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูง เมแทบอลิซึมเพิ่มมากขึ้น ร่างกายจึงมีพลังงานมากกว่าปกติ

? การทำงานของเอพิเนฟรินกับกลูโคคอร์ทิคอยด์มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดเหมือนหรือต่างกันอย่างไร

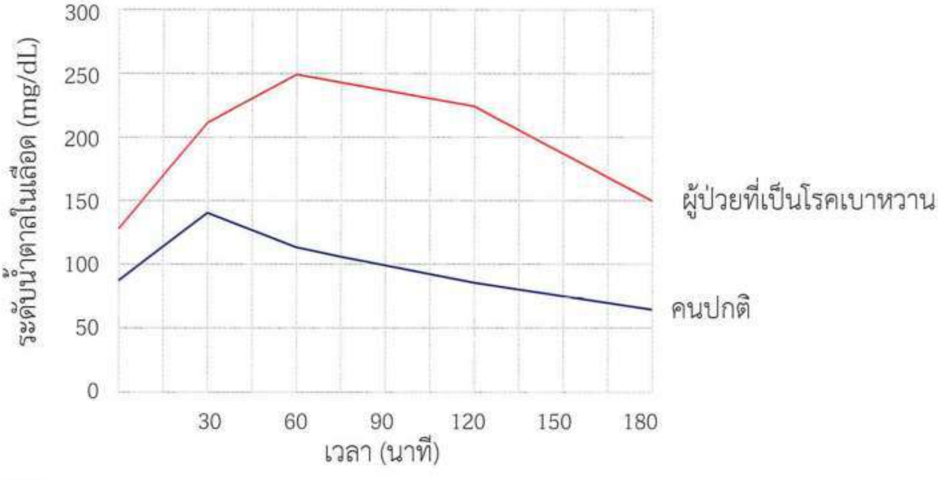
2.3 กลุ่มฮอร์โมนจากตับอ่อน

ตับอ่อน (pancreas) ทำหน้าที่เป็นทั้งต่อมมีท่อและต่อมไร้ท่อ ส่วนที่เป็นต่อมมีท่อทำหน้าที่สร้างเอนไซม์หลายชนิดแล้วส่งไปย่อยอาหารที่ลำไส้เล็ก ส่วนที่เป็นต่อมไร้ท่อ คือ **ไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์** (islets of Langerhans) กระจายอยู่ทั่วไปในตับอ่อน ซึ่งประกอบด้วย**เซลล์แอลฟา** (α-cell) และ**เซลล์บีตา** (β-cell) ดังรูป 20.15 ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด



รูป 20.15 ไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์ในตับอ่อน

การวัดระดับน้ำตาลในเลือดเป็นการวัดปริมาณกลูโคสในเลือด โดยคนปกติร่างกายจะรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ที่ระดับ 70-100 mg/dL นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานและคนปกติด้วยการทดสอบความทนต่อน้ำตาล (glucose tolerance test) โดยให้งดรับประทานอาหารอย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือด จากนั้นได้รับสารละลายกลูโคสปริมาณเท่ากันแล้วตรวจติดตามระดับน้ำตาลในเลือดที่เวลาต่าง ๆ จนครบ 180 นาที ข้อมูลแสดงดังรูป 20.16



ที่มา : ดัดแปลงจาก

1. Seals, D. R., Hagberg, J. M., Allen, W. K., Hurley, B. F., Dalsky, G. P., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1984). Glucose tolerance in young and older athletes and sedentary men. Journal of Applied Physiology, 56(6), 1521-1525.
2. Rogers, M. A., Yamamoto, C., King, D. S., Hagberg, J. M., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1988). Improvement in glucose tolerance after 1 Wk of exercise in patients with mild NIDDM. Diabetes care, 11(8), 613-618.

รูป 20.16 กราฟแสดงระดับน้ำตาลในเลือด

? จากกราฟสามารถอธิบายเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานกับคนปกติได้อย่างไร

จากกราฟจะเห็นว่าระดับน้ำตาลในเลือดภายหลังจากการงดอาหาร (นาทีที่ 0) ของผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานมีค่าสูงกว่าคนปกติ ภายหลังจากการได้รับกลูโคสระดับน้ำตาลในเลือดจะสูงขึ้นทั้งสองกลุ่มทดลอง ซึ่งพบว่าผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานมีค่าสูงกว่า 200 mg/dL และระดับน้ำตาลจะค่อย ๆ ลดลงแต่ต้องใช้เวลานานกว่าคนปกติ ในขณะที่ระดับน้ำตาลในเลือดของคนปกติจะสูงในช่วงแรกและค่อยๆ ลดลงจนสามารถรักษาดุลยภาพของระดับน้ำตาลในเลือดให้เข้าสู่ระดับปกติภายในเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง **ร่างกายมีกลไกในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติได้อย่างไร**

ไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์ในตับอ่อนสร้างฮอร์โมนที่สำคัญ 2 ชนิด คือ **อินซูลิน** (insulin) และ**กลูคากอน** (glucagon)

ipst.me/10799

อินซูลิน

เป็นฮอร์โมนที่สร้างจากเซลล์บีตาที่บริเวณส่วนกลางของไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์ ดังรูป 20.15 หน้าที่สำคัญคือ ลดระดับน้ำตาลในเลือดให้เป็นปกติ เมื่อร่างกายมีน้ำตาลในเลือดสูง อินซูลินจะหลั่งออกมามากเพื่อกระตุ้นให้เซลล์ตับและเซลล์กล้ามเนื้อนำกลูโคสเข้าไปในเซลล์มากขึ้น และเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นไกลโคเจนเพื่อเก็บสะสมไว้ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงสู่ระดับปกติ ถ้าเซลล์ที่สร้างอินซูลินถูกทำลาย ระดับน้ำตาลในเลือดจะสูงกว่าปกติทำให้เป็นโรคเบาหวาน

กลูคากอน

เป็นฮอร์โมนที่สร้างจากเซลล์แอลฟาที่บริเวณส่วนขอบของไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์ ดังรูป 20.15 ทำหน้าที่ตรงข้ามกับอินซูลินคือ เมื่อระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ กลูคากอนจะไปกระตุ้นการสลายตัวของไกลโคเจนจากตับและกล้ามเนื้อได้น้ำตาลกลูโคสแล้วปล่อยออกมา ทำให้เลือดมีระดับน้ำตาลเพิ่มขึ้น

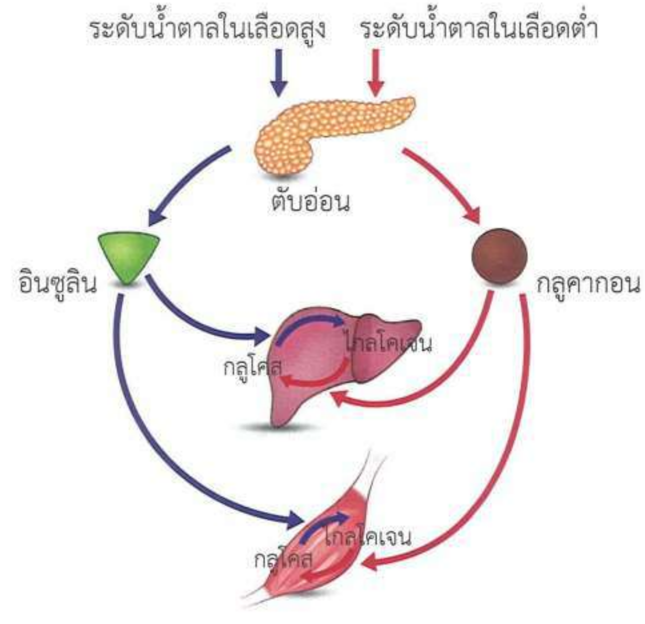
? คนปกติร่างกายจะหลั่งอินซูลินออกมามากเมื่อใด เพราะเหตุใด

? ปัจจัยที่กระตุ้นให้เซลล์ในไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์หลั่งกลูคากอนคืออะไร

? ปัจจัยใดที่ควบคุมความสัมพันธ์ของการหลั่งอินซูลินและกลูคากอน

? เพราะเหตุใด เมื่อออกกำลังกาย ร่างกายต้องใช้พลังงานมาก แต่ก็ยังสามารถรักษาดุลภาพของระดับน้ำตาลในเลือดให้เข้าสู่ระดับปกติได้

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดจะเป็นสัญญาณยับยั้งหรือกระตุ้นการหลั่งอินซูลินและกลูคากอนจากไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์ และผลจากการทำงานของฮอร์โมนทั้งสองจะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดอยู่ในภาวะปกติ ดังรูป 20.17



รูป 20.17 การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดโดยอินซูลินและกลูคากอน

? ฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมหมวกไตและไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์ทำหน้าที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ความผิดปกติในการสร้างฮอร์โมนของไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์ที่พบบ่อยคือ การเป็นโรคเบาหวานจะตรวจพบระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ อาการของคนที่เป็นโรคนี้โดยทั่วไปคือ ปัสสาวะมากและบ่อยครั้ง ทำให้กระหายน้ำมากผิดปกติ น้ำหนักตัวลดลงอย่างรวดเร็ว อ่อนเพลีย เซื่องซึม เมื่อยล้า มีอาการคันบริเวณอวัยวะเพศและผิวหนัง ตาพร่ามัว มองภาพไม่ชัด ผิวหนังพุพอง เป็นตุ่ม ฝี และติดเชื้อง่าย

อาการที่เกิดจากโรคเบาหวานดังกล่าวเกิดจากเซลล์ร่างกายไม่สามารถนำน้ำตาลไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งประสิทธิภาพของตับในการเก็บกลูโคสไว้ในรูปไกลโคเจนลดลง ทำให้หลังรับประทานอาหารแต่ละมื้อระดับน้ำตาลในเลือดจะสูงมากเป็นเวลานานจนร่างกายต้องกำจัดน้ำตาลส่วนเกินเหล่านี้ออกทางปัสสาวะ เมื่อร่างกายนำคาร์โบไฮเดรตจากอาหารมาใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่จึงต้องใช้โปรตีนและลิพิดในร่างกายมาสลายเป็นพลังงาน แต่การสลายโมเลกุลของสารทั้งสองนี้มีผลข้างเคียงคือ ทำให้ความเป็นกรดของเลือดสูงขึ้น กลไกการหายใจจึงผิดปกติและมักส่งผลให้ผู้ป่วยเกิดความผิดปกติขั้นรุนแรงจนถึงเสียชีวิต

โรคเบาหวานอาจแบ่งเป็น 2 แบบ แบบแรกเกิดจากตับอ่อนไม่สามารถสร้างอินซูลินได้ ในการรักษาผู้ป่วยจึงต้องรับการฉีดอินซูลินทุกวัน เพื่อควบคุมระดับน้ำตาลและต้องอยู่ในการดูแลของแพทย์อย่างใกล้ชิดเพื่อไม่ให้ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำจนเกิดสภาพช็อกเพราะขาดน้ำตาล โรคเบาหวานแบบที่สอง เป็นแบบที่พบมากถึงร้อยละ 90 ของผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานและพบได้ในบุคคลทุกเพศทุกวัย มีสาเหตุมาจากตับอ่อนของผู้ป่วยสร้างอินซูลินได้เป็นปกติ แต่ตัวรับอินซูลินผิดปกติ อินซูลินจึงทำงานไม่ได้ ระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยจึงสูงและแสดงอาการของโรคเบาหวานออกมา นอกจากนี้ผู้ป่วยมักจะมีอาการอื่นร่วมด้วยได้แก่ ตาพร่ามัว ระบบหมุนเวียนเลือดผิดปกติ และการทำงานของไตบกพร่อง

3. ฮอร์โมนที่ควบคุมการสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต

การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตถูกควบคุมโดยฮอร์โมนหลายชนิด คือ กลุ่มฮอร์โมนจากอวัยวะสืบพันธุ์ กลุ่มฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตส่วนนอก กลุ่มฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า และกลุ่มฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์

3.1 กลุ่มฮอร์โมนจากอวัยวะสืบพันธุ์

อัณฑะ (testis) และ**รังไข่** (ovary) นอกจากสร้างเซลล์สืบพันธุ์แล้วยังทำหน้าที่เป็นต่อมไร้ท่อ สามารถสร้างฮอร์โมนประเภทสเตอรอยด์ได้หลายชนิด **ฮอร์โมนเหล่านี้ควบคุมการทำงานของอวัยวะสืบพันธุ์อย่างไร**

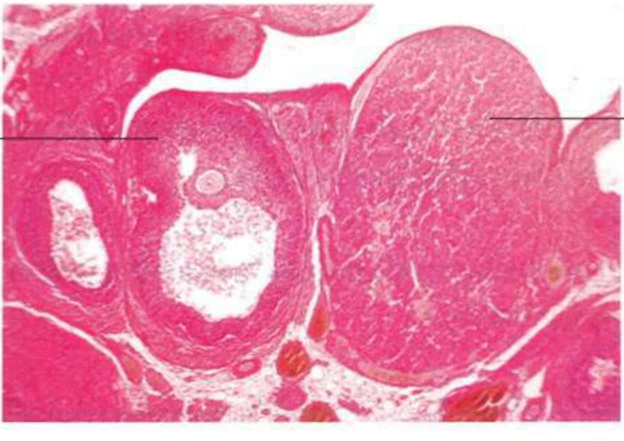
ในเพศชายเมื่อเข้าสู่วัยหนุ่ม**เซลล์อินเตอร์สติเชียล** (interstitial cell) หรือ**เซลล์เลย์ดิก** (Leydig cell) ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างหลอดสร้างอสุจิในอัณฑะ ดังรูป 20.18 จะได้รับการกระตุ้นโดย LH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้สร้างฮอร์โมนเพศชายซึ่งเรียกว่า **แอนโดรเจน** (androgen) ซึ่งประกอบด้วยฮอร์โมนหลายชนิด ที่สำคัญคือ **เทสโทสเทอโรน** (testosterone) มีหน้าที่ทำให้เพศชายมีความสามารถในการสืบพันธุ์ กระตุ้นการสร้างสเปิร์ม และควบคุมการมีลักษณะของเพศชาย เช่น มีลูกกระเดือกเห็นได้ชัด มีขนตามร่างกาย รักแร้ แขน ขา อวัยวะเพศ ไหล่กว้าง และสะโพกแคบ

นอกจากนี้เทสโทสเทอโรนยังมีความสำคัญต่อร่างกาย เช่น กระตุ้นการเจริญของกล้ามเนื้อ กระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีน เพิ่มการสร้างสารจากต่อมไขมัน กระตุ้นการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดง



รูป 20.18 เซลล์อินเตอร์สติเชียล

ในเพศหญิงมีแหล่งสร้างฮอร์โมนเพศ คือ ฟอลลิเคิลและคอร์ปัสลูเทียมในรังไข่ ดังรูป 20.19 โดยระยะก่อนการตกไข่เซลล์ฟอลลิเคิลจะสร้างฮอร์โมนเพศหญิง คือ**อีสโทรเจน** (estrogen) ซึ่งมีหน้าที่ทำให้เพศหญิงมีความสามารถในการสืบพันธุ์และมีลักษณะของเพศหญิง เช่น มีเสียงเล็ก สะโพกผาย อวัยวะเพศและเต้านมมีขนาดโตขึ้น มีขนขึ้นตามบริเวณรักแร้และอวัยวะเพศ นอกจากนี้อีสโทรเจนยังมีส่วนในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงที่รังไข่ โดยอีสโทรเจนในปริมาณที่สูงกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้หลั่ง LH มากระตุ้นให้เกิดการตกไข่ อีสโทรเจนยังทำให้ท่อนำไข่และกล้ามเนื้อมดลูกหดตัว กระตุ้นเซลล์บริเวณช่องคลอดให้หลั่งเมือกเพื่อช่วยให้สเปิร์มเคลื่อนที่ไปยังท่อนำไข่ได้



รูป 20.19 ฟอลลิเคิลและคอร์ปัสลูเทียมในรังไข่

นอกจากนี้อีสโทรเจนยังมีความสำคัญต่อร่างกาย เช่น กระตุ้นการเจริญของกล้ามเนื้อเรียบ กระตุ้นการเจริญของกระดูก ยับยั้งการสลายของเนื้อกระดูกโดยลดการดึงแคลเซียมออกจากกระดูก ทำให้กระดูกมีความแข็งแรง ไม่เปราะบางและแตกหักง่าย ป้องกันการเกิดโรคกระดูกพรุน อีกทั้งกระตุ้นการหลั่งของเหลวจากต่อมไขมันซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดสิว

คอร์ปัสลูเทียมจะสร้าง**โพรเจสเทอโรน** (progesterone) และอีสโทรเจนซึ่งทำงานร่วมกัน โดยโพรเจสเทอโรนกระตุ้นการเจริญของเยื่อบุชั้นในของผนังมดลูกให้หนาขึ้น เพื่อรองรับการฝังตัวของเอ็มบริโอ ลดการหดตัวของท่อนำไข่ นอกจากนี้โพรเจสเทอโรนยังทำหน้าที่ร่วมกับโพรแลกทินในการกระตุ้นต่อมน้ำนมให้เจริญ แต่ไม่กระตุ้นการสร้างน้ำนม

3.2 กลุ่มฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตส่วนนอก

แอนโดรเจนนอกจากสร้างจากอัณฑะแล้ว ยังสร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอกของทั้งเพศหญิงและเพศชาย ซึ่งมีปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับที่สร้างจากอัณฑะ จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของร่างกายไม่มากนัก อย่างไรก็ตามถ้าต่อมนี้สร้างแอนโดรเจนมากเกินปกติ ย่อมทำให้เกิดความผิดปกติทางเพศได้ โดยเด็กจะเข้าสู่วัยหนุ่มสาวเร็วขึ้น อวัยวะเพศมีการเจริญเพิ่มขนาดมากขึ้น มีขนขึ้นตามร่างกายมากกว่าปกติ เสียงห้าว ในเพศหญิงที่โตเป็นสาวแล้วจะมีหนวดเครา นอกจากนี้ในเพศหญิงสามารถสร้างอีสโทรเจนจากต่อมนี้ได้เช่นกัน แต่มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับที่สร้างจากรังไข่

3.3 กลุ่มฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า

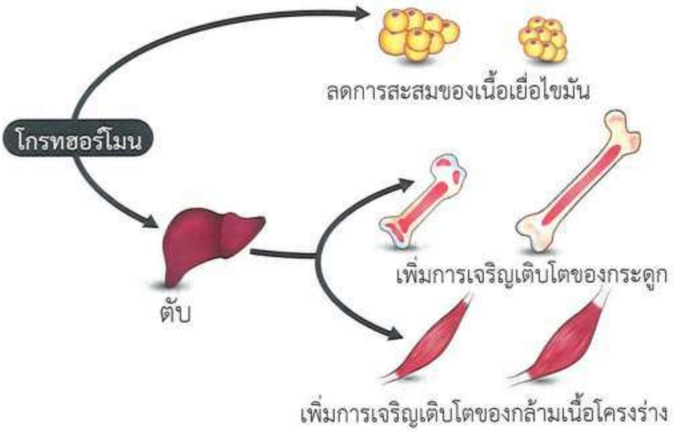
เมื่อเข้าสู่วัยหนุ่มสาว ต่อมใต้สมองส่วนหน้าจะหลั่งโกนาโดโทรฟินซึ่งประกอบด้วย FSH และ LH ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญของรังไข่และอัณฑะให้สร้างเซลล์สืบพันธุ์และฮอร์โมนเพศ

ในเพศชาย FSH กระตุ้นการเจริญเติบโตของอัณฑะและหลอดสร้างอสุจิให้สร้างอสุจิ ส่วน LH กระตุ้นกลุ่มเซลล์อินเตอร์สติเชียลให้หลั่งเทสโทสเทอโรน

ส่วนในเพศหญิง FSH กระตุ้นการเจริญของฟอลลิเคิลในรังไข่ ขณะที่ฟอลลิเคิลเจริญจะสร้างอีสโทรเจน ส่วน LH จะกระตุ้นการตกไข่

? กลไกการทำงานของ LH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้าในเพศชายและเพศหญิงมีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

โกรทฮอร์โมน (growth hormone; GH) จากต่อมใต้สมองส่วนหน้ามีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโตของร่างกาย อาจเรียกฮอร์โมนชนิดนี้อีกชื่อหนึ่งว่า **โซมาโทโทรฟิน** (somatotrophin หรือ somatotrophic hormone; STH) ทำหน้าที่กระตุ้นให้ตับสังเคราะห์สารไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของร่างกาย ดังรูป 20.20



รูป 20.20 โกรทฮอร์โมนควบคุมการเจริญเติบโตของร่างกาย

กรณีมี GH มากเกินไปในวัยเด็กจะทำให้ร่างกายสูงผิดปกติหรือ **สภาพร่างยักษ์** (gigantism) หากร่างกายขาดฮอร์โมนนี้ในวัยเด็กจะมีลักษณะเตี้ยแคระหรือ **สภาพแคระ** (dwarfism) ดังรูป 20.21 ก.

ถ้ามี GH สูงภายหลังโตเต็มวัยแล้ว ร่างกายจะไม่สูงใหญ่กว่าปกติมากนัก แต่ส่วนที่เป็นกระดูกแขน ขา คาง กระดูกขากรรไกรและกระดูกแก้มยังตอบสนองต่อ GH อยู่ ทำให้กระดูกเหล่านี้ขยายใหญ่โดยเฉพาะบริเวณใบหน้า มือ เท้า นิ้วมือนิ้วเท้ามีขนาดใหญ่ ผิวหยาบกร้านและหนาขึ้น น้ำหนักเพิ่มขึ้น บวมตามข้อต่อ เรียกลักษณะดังกล่าวนี้ว่า **อะโครเมกาลี** (acromegaly) ดังรูป 20.21 ข.





รูป 20.21 ผลของโกรทฮอร์โมน
ก. คนที่มีสภาพร่างยักษ์และสภาพแคระ ข. ลักษณะของผู้ป่วยอะโครเมกาลี

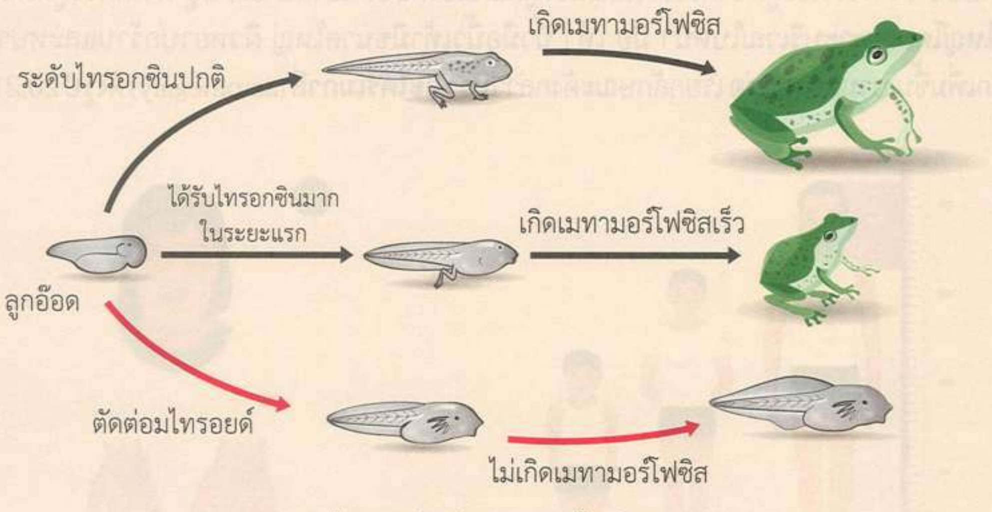
ผู้ใหญ่ที่ขาด GH แม้จะไม่มีลักษณะที่ปรากฏอย่างเด่นชัด แต่มีระดับน้ำตาลในเลือดต่ำกว่าคนปกติ จึงทำให้ร่างกายไม่สามารถทนต่อความเครียดต่าง ๆ ได้ ถ้ามีความเครียดมาก ๆ อาจทำให้สมองได้รับอันตรายได้ง่ายเพราะได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามอันตรายที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยยังขึ้นอยู่กับฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดชนิดอื่นด้วย

3.4 กลุ่มฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์

ไทรอกซินในมนุษย์นอกจากทำหน้าที่ควบคุมอัตราเมแทบอลิซึมของร่างกายดังกล่าวแล้วยังควบคุมการเจริญเติบโตของร่างกายและการเจริญของสมอง การขาดไทรอกซินในวัยเด็กจะมีผลให้พัฒนาการทางร่างกายและสมองด้อยลง การเจริญเติบโตช้ากว่าปกติและปัญญาอ่อน

ชวนคิด

ในสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกมีไทรอกซินสร้างจากต่อมไทรอยด์ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต โดยกระตุ้นเมทามอร์โฟซิส มีผู้ศึกษาผลของไทรอกซินกับการเกิดเมทามอร์โฟซิสของกบ ดังรูป



ผลของไทรอกซินต่อเมทามอร์โฟซิสของกบ

? ถ้าลูกอ๊อดได้รับไทรอกซินมากในระยะแรก การเจริญเติบโตจะแตกต่างจากลูกอ๊อดที่มีไทรอกซินปกติอย่างไร

? ถ้าลูกอ๊อดขาดไทรอกซินจะมีผลต่อการเจริญเติบโตอย่างไร

4. ฮอร์โมนที่ควบคุมการรักษาดุลยภาพของน้ำและแร่ธาตุ

ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยน้ำและสารต่าง ๆ โดยมีน้ำประมาณ 2 ใน 3 ของน้ำหนักตัว น้ำมีบทบาทสำคัญในร่างกาย เช่น เป็นตัวกลางของการเกิดปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการเมแทบอลิซึม การย่อยอาหาร การหมุนเวียนเลือด การขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย รวมถึงการรักษาดุลยภาพของความเป็นกรด-เบสของเลือดและของเหลวต่าง ๆ ร่างกายจึงต้องมีการรักษาดุลยภาพของน้ำและแร่ธาตุซึ่งถูกควบคุมโดยฮอร์โมนหลายชนิด คือ ฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหลัง ฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตส่วนนอก ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์และต่อมพาราไทรอยด์

4.1 ฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหลัง

ADH หลั่งจากต่อมใต้สมองส่วนหลังทำหน้าที่ควบคุมดุลยภาพของน้ำ โดย ADH ไปกระตุ้นให้ท่อขดส่วนปลายของหน่วยไตและท่อรวมดูดกลับน้ำเข้าสู่หลอดเลือด ทำให้ปริมาณน้ำในเลือดสมดุลและกระตุ้นให้หลอดเลือดอาร์เทอรีหดตัว

? ถ้าร่างกายขาด ADH จะมีผลต่อการรักษาดุลยภาพของน้ำอย่างไร

4.2 ฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตส่วนนอก

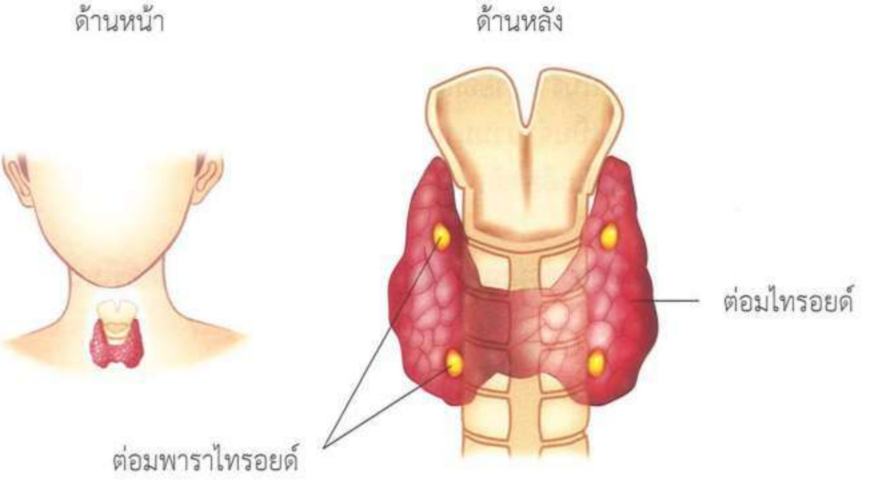
มิเนราโลคอร์ทิคอยด์ (mineralocorticoids) สร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอก มีหน้าที่หลักในการควบคุมดุลยภาพของน้ำและแร่ธาตุในร่างกาย ฮอร์โมนที่สำคัญในกลุ่มนี้ คือ **แอลโดสเทอโรน** (aldosterone) ซึ่งควบคุมการทำงานของไตในการดูดกลับน้ำและโซเดียมเข้าสู่หลอดเลือดและขับโพแทสเซียมออกจากท่อหน่วยไตให้สมดุลกับความต้องการของร่างกายทั้งยังควบคุมสมดุลของความเข้มข้นของฟอสเฟตในร่างกายอีกด้วย การขาดแอลโดสเทอโรนจะมีผลให้ร่างกายสูญเสียน้ำและโซเดียมไปพร้อมปัสสาวะเป็นจำนวนมากและส่งผลให้ปริมาตรของเลือดในร่างกายลดลง จนอาจทำให้เสียชีวิตเนื่องจากมีความดันเลือดต่ำ

? การสร้างฮอร์โมนของต่อมหมวกไตส่วนนอกถูกควบคุมโดยฮอร์โมนชนิดใดและฮอร์โมนนี้สร้างมาจากแหล่งใด

4.3 ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์และต่อมพาราไทรอยด์

ฮอร์โมนจากต่อมทั้งสองนี้ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมสมดุลของแคลเซียม ร่างกายต้องการแคลเซียมในปริมาณเล็กน้อยแต่ถ้าได้รับปริมาณไม่เพียงพอหรือมากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อร่างกายได้ เช่น เมื่อร่างกายขาดแคลเซียมจะส่งผลให้ฟันผุ กระดูกพรุน กล้ามเนื้อเกิดอาการเกร็งและชักกระตุก ส่วนในกรณีที่ร่างกายมีแคลเซียมมากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดโรคนิ่วในกระเพาะปัสสาวะและนิ่วในไต นอกจากนี้แคลเซียมยังมีความสำคัญต่อร่างกาย เช่น ควบคุมกลไกการแข็งตัวของเลือด ช่วยในการดูดซึมวิตามิน B12 การนำกระแสประสาท การหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้นร่างกายจึงต้องมีการควบคุมแคลเซียมให้อยู่ในดุลยภาพ ซึ่งเกี่ยวข้องกับฮอร์โมน 2 ชนิด คือ แคลซิโทนินและพาราทอร์โมน

- **แคลซิโทนิน** (calcitonin) เป็นฮอร์โมนที่สร้างจากเซลล์ซีของต่อมไทรอยด์ (รูป 20.10) มีหน้าที่กระตุ้นการสะสมแคลเซียมที่กระดูก ลดการดูดกลับแคลเซียมที่ไตและลดอัตราการดูดซึมแคลเซียมที่ลำไส้เล็ก ฮอร์โมนนี้ทำงานร่วมกับฮอร์โมนจากต่อมพาราไทรอยด์และวิตามิน D
- **พาราทอร์โมน** (parathormone) หรือ**พาราไทรอยด์ฮอร์โมน** (parathyroid hormone; PTH) เป็นฮอร์โมนที่สร้างจาก**ต่อมพาราไทรอยด์** (parathyroid gland) ซึ่งเป็นต่อมขนาดเล็กติดอยู่ทางด้านหลังของต่อมไทรอยด์ข้างละ 2 ต่อม ดังรูป 20.22 ต่อมนี้มีความสำคัญในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมเท่านั้น

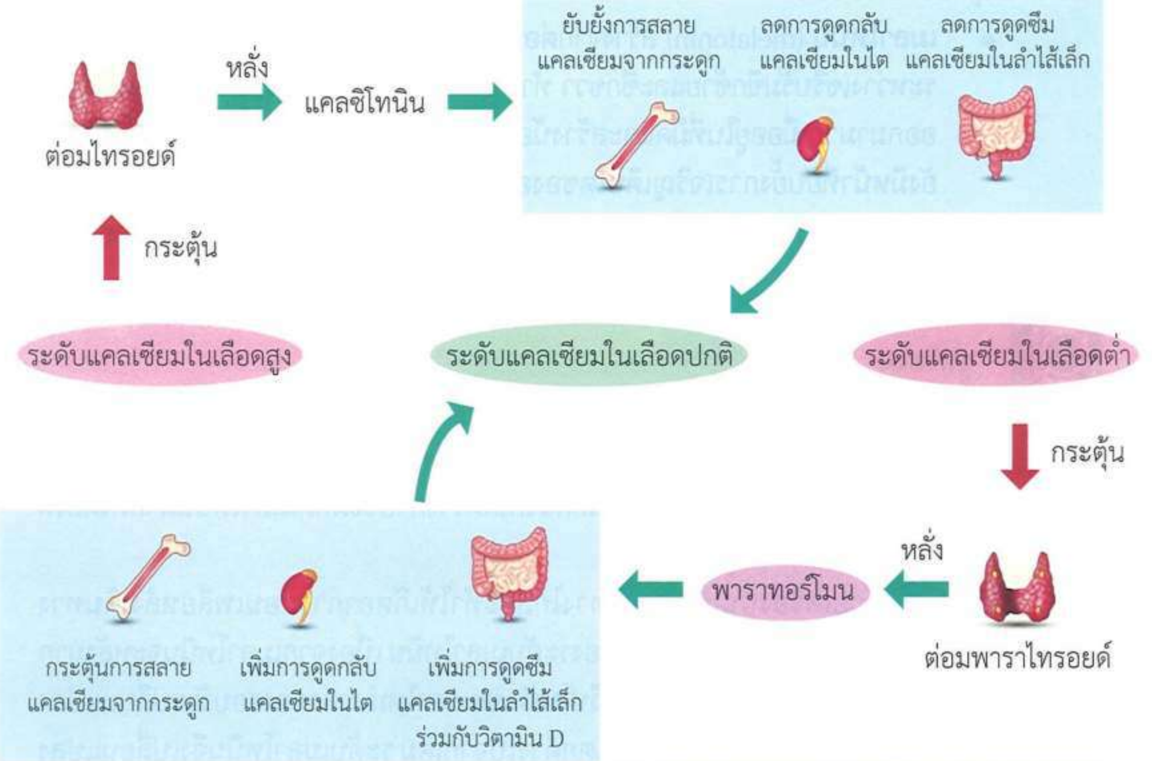


รูป 20.22 ต่อมพาราไทรอยด์

พาราทอร์โมนควบคุมสมดุลของแคลเซียมในเลือดให้ปกติ โดยมีผลสำคัญต่ออวัยวะคือ ผลต่อกระดูกโดยช่วยเพิ่มอัตราการสลายแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่กระดูก ผลต่อไตคือช่วยเพิ่มการดูดกลับแคลเซียมที่ท่อหน่วยไต แต่กระตุ้นการขับฟอสเฟตออกทางปัสสาวะ และผลต่อทางเดินอาหารโดยช่วยเร่งอัตราการดูดซึมแคลเซียมเข้าสู่ลำไส้เล็ก การทำงานของพาราทอร์โมนจะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อทำงานร่วมกับวิตามิน D

ถ้ามีพาราทอร์โมนน้อยกว่าปกติ ทำให้การดูดกลับแคลเซียมที่ท่อหน่วยไตและการสลายแคลเซียมจากกระดูกน้อยลง ถ้าระดับแคลเซียมในเลือดต่ำ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดอาการเกร็งและชักกระตุก การบีบตัวของหัวใจอ่อนลง อาจทำให้เสียชีวิตได้ อาการดังกล่าวสามารถรักษาได้ด้วยการให้ฮอร์โมนชนิดนี้พร้อมกับวิตามิน D ถ้ามีการสร้างพาราทอร์โมนมากเกินไปจะมีการสลายแคลเซียมจากฟันและกระดูกเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด ทำให้แคลเซียมในเลือดสูง กระดูกบาง ฟันผุและหักง่าย

การทำงานของพาราทอร์โมนจากต่อมพาราไทรอยด์ในการควบคุมสมดุลของแคลเซียมจะทำงานร่วมกับแคลซิโทนินจากต่อมไทรอยด์ ดังรูป 20.23



รูป 20.23 การควบคุมสมดุลของแคลเซียม

ความรู้เพิ่มเติม

โรคกระดูกพรุนเป็นโรคที่ร่างกายมีการสลายกระดูกมากกว่าการสร้างกระดูกทำให้ความหนาแน่นและมวลของกระดูกลดลง กระดูกเปราะบางและแตกหักง่าย ทนรับน้ำหนักหรือแรงกระแทกได้น้อย และอาจทำให้ส่วนสูงลดลง โรคกระดูกพรุนเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอ การทำงานที่ผิดปกติของต่อมไทรอยด์และต่อมพาราไทรอยด์ รวมถึงการขาดวิตามิน D การสูบบุหรี่ การดื่มสุรา การดื่มเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีน และการขาดอีสโทรเจน ซึ่งทำให้การดูดซึมแคลเซียมของร่างกายลดลง การป้องกันสามารถทำได้โดยการออกกำลังกาย รับประทานอาหารที่มีแคลเซียม ไม่สูบบุหรี่ ไม่ดื่มเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีน ไม่ดื่มสุรา ดูแลร่างกายให้ได้รับแสงแดดในยามเช้าและเย็นเพื่อป้องกันการขาดวิตามิน D

5. ฮอร์โมนที่ทำหน้าที่อื่น ๆ

นอกจากการทำงานของฮอร์โมนที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีฮอร์โมนที่ทำหน้าที่อื่น ๆ ซึ่งล้วนแต่มีความสำคัญต่อร่างกาย เช่น

- **เมลาโทนิน** (melatonin) สร้างจาก**ต่อมไพเนียล** (pineal gland) ซึ่งในมนุษย์อยู่บริเวณระหว่างเซรีบรัมซีกซ้ายและซีกขวา ทำหน้าที่บอกถึงเวลาของรอบวัน โดยจะมีการสร้างออกมามากเมื่ออยู่ในที่มืดและสร้างน้อยเมื่ออยู่ในที่ที่มีแสงสว่าง นอกจากนี้เมลาโทนินยังมีหน้าที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์ไม่ให้เติบโตเร็วเกินไปในช่วงก่อนวัยเจริญพันธุ์ แต่ถ้ามีการสร้างเมลาโทนินมากเกินไปจะส่งผลให้เจริญเข้าสู่วัยหนุ่มสาวช้ากว่าปกติ

รู้หรือไม่

- เมื่ออายุมากขึ้นร่างกายจะผลิตเมลาโทนินน้อยลง ส่งผลให้ช่วงระยะเวลานอนหลับของผู้สูงอายุโดยเฉลี่ยลดน้อยลง ในขณะที่เด็กแรกเกิดร่างกายจะผลิตเมลาโทนินมากส่งผลให้เด็กนอนหลับได้นาน
- เมื่อเดินทางด้วยเครื่องบินเป็นระยะทางไกลจะทำให้เกิดอาการอ่อนเพลียหลังเดินทาง (jet lag) เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของระดับเมลาโทนิน เนื่องจากเมลาโทนินจะหลั่งมากในช่วงที่มีแสงน้อย เมื่อเดินทางข้ามทวีปไปยังเขตเวลาใหม่ เวลาของรอบวันเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ร่างกายได้รับปริมาณแสงแตกต่างไปจากเดิม ระดับเมลาโทนินจึงเปลี่ยนแปลงไปด้วย ร่างกายจึงต้องปรับตัวเพื่อให้ระดับเมลาโทนินในเลือดเป็นปกติ

- **ออกซิโทซิน** (oxytocin) หลั่งจากต่อมใต้สมองส่วนหลัง ทำให้กล้ามเนื้อเรียบที่มดลูกบีบตัว จึงเป็นฮอร์โมนที่แพทย์ฉีดเพื่อช่วยในการคลอดของมารดาที่มีฮอร์โมนชนิดนี้น้อยกว่าปกติ นอกจากนี้ฮอร์โมนนี้ยังกระตุ้นกล้ามเนื้อรอบ ๆ ต่อมน้ำนมให้หดตัวเพื่อขับน้ำนมออกมาเลี้ยงลูกอ่อน
- **โพรแลกทิน** (prolactin) สร้างและหลั่งจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ทำหน้าที่กระตุ้นต่อมน้ำนมให้สร้างน้ำนม เพื่อเลี้ยงลูกอ่อนหลังการคลอด
- **เอนดอร์ฟิน** (endorphin) เป็นสารที่มีฤทธิ์คล้ายมอร์ฟีน สร้างจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าและอาจสร้างจากเนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ เป็นสารที่ทำหน้าที่ระงับความเจ็บปวดและช่วยเพิ่มความตื่นตัว มีชีวิตชีวาและความสุข ซึ่งสารนี้จะหลั่งจากหลายสาเหตุ เช่น ในขณะออกกำลังกาย รับประทานอาหารที่ชอบ ฟังเพลงที่ชื่นชอบ เชียร์กีฬา จึงเรียกสารนี้ว่า ฮอร์โมนแห่งความสุข

นอกจากฮอร์โมนที่กล่าวมาแล้วยังมีฮอร์โมนที่ไม่ได้สร้างจากต่อมไร้ท่อ แต่สร้างจากเนื้อเยื่อต่าง ๆ อีกหลายชนิด เช่น

- **ฮิวแมนคอริโอนิกโกนาโดโทรฟิน** (human chorionic gonadotrophin; hCG) สร้างจากรก (placenta) จะเริ่มหลั่งหลังจากเอ็มบริโอฝังตัวที่ผนังมดลูกแล้ว เพื่อกระตุ้นคอร์ปัสลูเทียมในรังไข่ให้เจริญต่อไปและสร้างโพรเจสเทอโรนเพิ่มขึ้น
- **ไทโมซิน** (thymosin) สร้างจากเซลล์บางส่วนของไทมัส (thymus) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการพัฒนาของลิมโฟไซต์ชนิดทีหรือเซลล์ทีในไทมัส ไทโมซินจึงเป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย
- **แกสทริน** (gastrin) สร้างจากกระเพาะอาหาร มีหน้าที่กระตุ้นการหลั่งเอนไซม์และกรดไฮโดรคลอริกจากกระเพาะอาหาร
- **ซีครีทิน** (secretin) สร้างจากลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม ขณะที่อาหารที่มีความเป็นกรดจากกระเพาะอาหารผ่านเข้าไปในดูโอดินัม ซีครีทินจะกระตุ้นตับอ่อนให้หลั่งโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต
- **คอลีซิสโทไคนิน** (cholecystokinin) สร้างจากลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม กระตุ้นการบีบตัวของถุงน้ำดีและตับอ่อนให้หลั่งเอนไซม์
- **อีรีโทรโพอิทิน** (erythropoietin) สร้างจากไต ทำหน้าที่กระตุ้นการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงจากไขกระดูก

กิจกรรม 20.1 งานวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับฮอร์โมน

จุดประสงค์

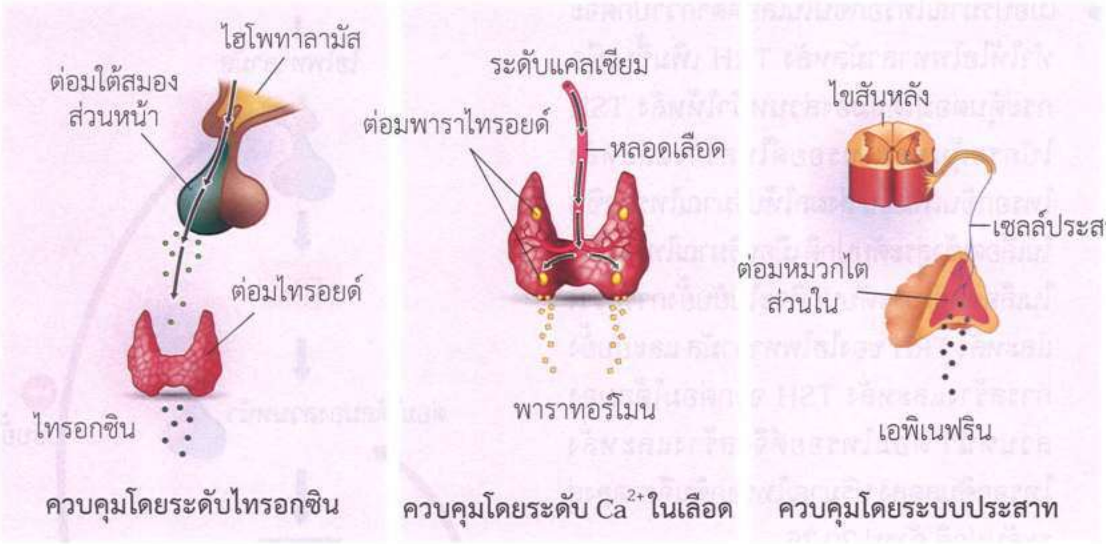
สืบค้นข้อมูล อธิบายและสรุปความสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวกับฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อต่าง ๆ

วิธีดำเนินกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลจาก ข่าว บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในด้านต่าง ๆ เช่น การแพทย์ การเลี้ยงสัตว์
2. สรุปความสำคัญและประโยชน์ของฮอร์โมน
3. นำเสนอข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น นิทรรศการ รายงาน แผ่นพับ และอภิปรายร่วมกัน

20.4 การรักษาสมดุลของฮอร์โมน

การรักษาดุลยภาพของร่างกายด้วยฮอร์โมนเกี่ยวข้องกับการสร้าง การลำเลียง และการตอบสนองของอวัยวะเป้าหมายที่มีตัวรับที่จำเพาะต่อฮอร์โมนชนิดนั้น ๆ ร่างกายจำเป็นต้องมีการควบคุมการหลั่งฮอร์โมนของต่อมไร้ท่อ โดยการควบคุมดังกล่าวอาจเป็นปริมาณของฮอร์โมน เช่น คอร์ทิซอล เทสโทสเทอโรน ไทรอกซิน หรือระดับสารเคมีอื่น ๆ ในเลือด เช่น กลูโคส แคลเซียม และการควบคุมโดยระบบประสาทซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่ร่างกายรับรู้ผ่านทางระบบประสาท ดังรูป 20.24

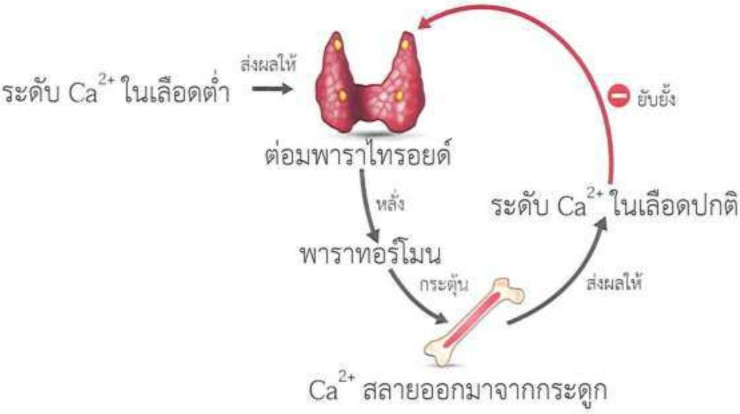


รูป 20.24 การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนของต่อมไร้ท่อ

ipst.me/10798

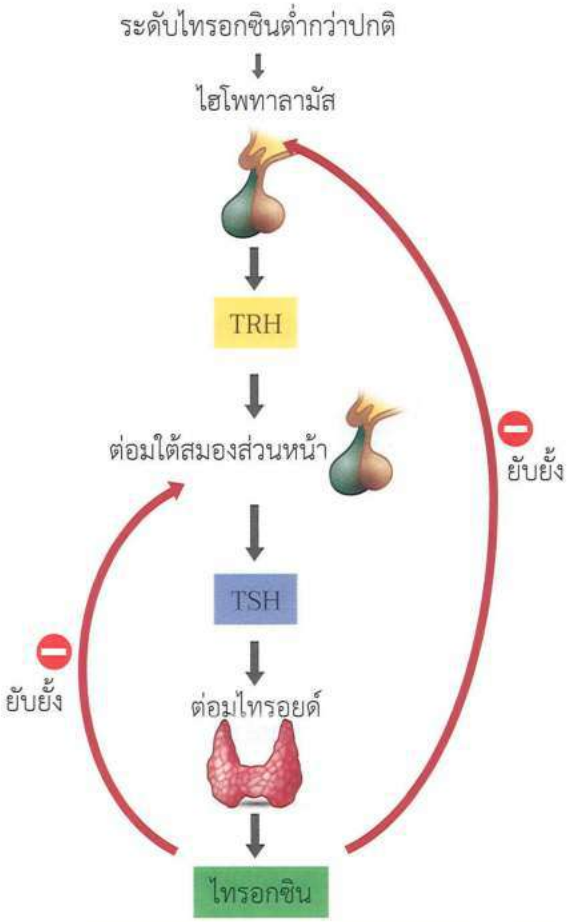
การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนที่กล่าวมาส่วนใหญ่มีรูปแบบการควบคุมโดยวิธี**การควบคุมแบบป้อนกลับ** (feedback control) ซึ่งมี 2 แบบคือ **แบบป้อนกลับยับยั้ง** (negative feedback) ฮอร์โมนที่หลั่งออกมาจะมีผลไปยับยั้งต่อมไร้ท่อที่กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน และ**แบบป้อนกลับกระตุ้น** (positive feedback) ฮอร์โมนที่หลั่งออกมามีผลไปกระตุ้นให้มีการสร้างหรือหลั่งฮอร์โมนนั้นมากขึ้น เช่น

- เมื่อระดับแคลเซียมในเลือดต่ำกว่าปกติ ต่อมพาราไทรอยด์จะหลั่งพาราทอร์โมนไปกระตุ้นการสลายแคลเซียมจากกระดูกเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือด เมื่อระดับแคลเซียมในเลือดอยู่ในระดับปกติก็จะไปยับยั้งต่อมพาราไทรอยด์ไม่ให้หลั่งพาราทอร์โมน ดังรูป 20.25



รูป 20.25 การควบคุมการหลั่งพาราทอร์โมนแบบป้อนกลับยับยั้ง

- เมื่อปริมาณไทรอกซินในเลือดต่ำกว่าปกติจะทำให้ไฮโพทาลามัสหลั่ง TRH เพิ่มขึ้นเพื่อกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้หลั่ง TSH ไปกระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้สร้างและหลั่งไทรอกซินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณไทรอกซินในเลือดเข้าสู่ระดับปกติ เมื่อปริมาณไทรอกซินในเลือดอยู่ในระดับปกติจะไปยับยั้งการสร้างและหลั่ง TRH ของไฮโพทาลามัส และยับยั้งการสร้างและหลั่ง TSH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ต่อมไทรอยด์จึงสร้างและหลั่งไทรอกซินลดลง ปริมาณไทรอกซินจึงลดลงสู่ระดับปกติ ดังรูป 20.26

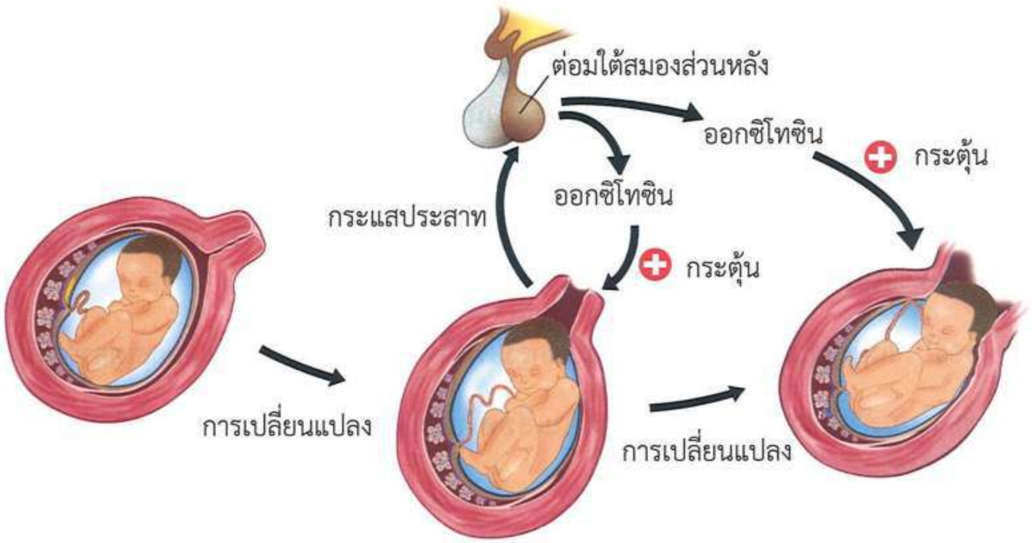


รูป 20.26 การควบคุมการหลั่งไทรอกซินแบบป้อนกลับยับยั้ง

ตรวจสอบความเข้าใจ

? จงเขียนแผนภาพการควบคุมการหลั่งไทรอกซินแบบป้อนกลับยับยั้ง ในกรณีที่ร่างกายขาดไอโอดีนจนเป็นโรคคอพอก

- ในบางกรณีฮอร์โมนบางชนิดไม่ได้มีผลยับยั้ง แต่กลับมีผลไปกระตุ้นการทำงานของต่อมไร้ท่อ เช่น ออกซิโทซินกระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่มดลูก โดยขณะคลอด ศีรษะของทารกจะดันปากมดลูกให้ขยายกว้างออก หน่วยรับความรู้สึกบริเวณปากมดลูกจะส่งกระแสประสาทไปยังต่อมใต้สมองส่วนหลังให้หลั่งออกซิโทซินมากระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่มดลูกให้ดันทารกออกมาทางช่องคลอด โดยแรงกดของหัวทารกที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณช่องคลอดจะมีผลกระตุ้นการหลั่งออกซิโทซินมากขึ้น ซึ่งระดับออกซิโทซินที่สูงขึ้นจะมีผลไปกระตุ้นการหลั่งให้เพิ่มขึ้นอีกจนกระทั่งทารกคลอดออกมา การหลั่งออกซิโทซินจะลดลง ดังรูป 20.27



รูป 20.27 การควบคุมการหลั่งออกซิโทซินแบบป้อนกลับกระตุ้น

ตรวจสอบความเข้าใจ

? จงเขียนแผนผังสรุปการจัดกลุ่มฮอร์โมนตามการทำงานของฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อที่สร้างฮอร์โมน

สัตว์ต้องอาศัยการทำงานที่ประสานกันระหว่างระบบต่อมไร้ท่อและระบบประสาทในการควบคุมและรักษาดุลยภาพของร่างกายเพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยอาศัยการทำงานของอวัยวะที่อยู่ในระบบต่าง ๆ ที่ทำงานประสานและสัมพันธ์กัน ทั้งระบบย่อยอาหาร ระบบหายใจ ระบบหมุนเวียนเลือด ระบบขับถ่าย ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบประสาท และระบบต่อมไร้ท่อซึ่งมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต จะเห็นว่าสิ่งมีชีวิตทุกชนิดสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้น การตอบสนองดังกล่าวจะแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิดของสิ่งมีชีวิต และทำให้เกิดพฤติกรรมต่าง ๆ เช่น การกินอาหาร การหนีศัตรู การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของร่างกาย การรักษาดุลยภาพของน้ำ ซึ่งการตอบสนองเหล่านี้ทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถอยู่รอด สืบพันธุ์ และดำรงพันธุ์ไว้ได้

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

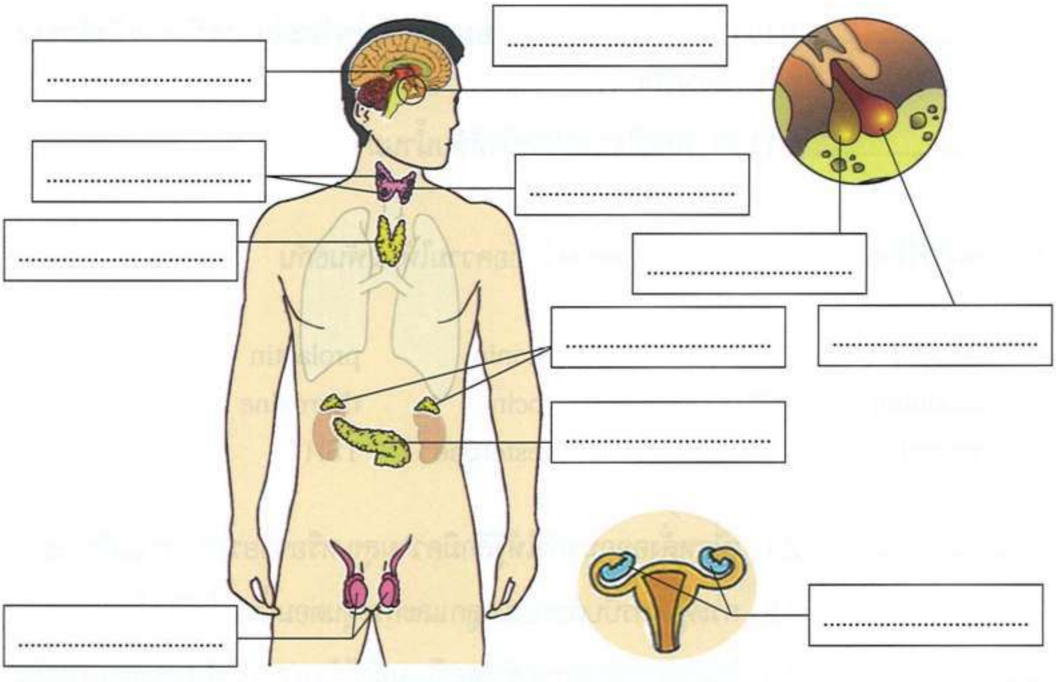
1. ระบบต่อมไร้ท่อและระบบประสาททำงานร่วมกันในการควบคุมดุลยภาพของร่างกาย โดยมีไฮโพทาลามัสซึ่งเป็นส่วนของสมองส่วนหน้าทำหน้าที่สร้างและหลั่งฮอร์โมนประสาทมาควบคุมการหลั่งฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหน้า
2. ฮอร์โมนควบคุมสมดุลต่าง ๆ ของร่างกาย โดยผลิตจากต่อมไร้ท่อหรือเนื้อเยื่อที่กระจายอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วร่างกาย
3. ฮอร์โมนแบ่งตามโครงสร้างทางเคมีเป็นกลุ่มเพปไทด์หรือโปรตีน เอมีน และสเตอรอยด์
4. ฮอร์โมนลำเลียงผ่านระบบหมุนเวียนเลือดไปยังเซลล์เป้าหมายที่มีตัวรับที่จำเพาะที่เยื่อหุ้มเซลล์หรือภายในเซลล์
5. ฮอร์โมนแบ่งออกเป็นกลุ่มตามการทำงานดังนี้

   - ฮอร์โมนที่ควบคุมการสร้างและหลั่งฮอร์โมนชนิดอื่น
   - ฮอร์โมนที่ควบคุมและเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึม
   - ฮอร์โมนที่ควบคุมการสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต
   - ฮอร์โมนที่ควบคุมการรักษาดุลยภาพของน้ำและแร่ธาตุ
   - ฮอร์โมนที่ทำหน้าที่อื่น ๆ

6. การรักษาสมดุลของฮอร์โมนเป็นการควบคุมการหลั่งฮอร์โมนของต่อมไร้ท่อ โดยปริมาณของฮอร์โมนเอง ระดับสารเคมีอื่น ๆ ในเลือด และระบบประสาท
7. การหลั่งฮอร์โมนส่วนใหญ่ถูกควบคุมโดยวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบป้อนกลับยับยั้ง และแบบป้อนกลับกระตุ้น
8. การสร้างและหลั่งฮอร์โมนในปริมาณมากหรือน้อยเกินไป จะทำให้เกิดโรคหรืออาการผิดปกติของร่างกาย

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 20

1. จงเติมชื่อต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อที่สร้างฮอร์โมนเป็นภาษาอังกฤษลงในรูปและเติมลงหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน (ตอบได้มากกว่า 1 ชื่อ และตอบซ้ำได้)



.... 1.1 อยู่บริเวณช่องท้อง สร้างฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติ

.... 1.2 เป็นต่อมที่ไม่ได้สร้างฮอร์โมน แต่รับฮอร์โมนจากไฮโพทาลามัส ถ้าต่อมนี้ถูกทำลาย จะทำให้มีอาการปัสสาวะมากและบ่อย

.... 1.3 สร้างฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ควบคุมสมดุลของแคลเซียมในเลือด

.... 1.4 ถ้าหลั่งฮอร์โมนมากเกินไปจะมีโอกาสเป็นโรคกระดูกพรุน

.... 1.5 สร้างฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย

.... 1.6 ควบคุมโดยฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า

.... 1.7 ถ้าสร้างฮอร์โมนมากเกินไปในช่วงก่อนวัยเจริญพันธุ์จะทำให้เป็นหนุ่มสาวช้ากว่าปกติ

.... 1.8 ถ้าขาดฮอร์โมนจากต่อมนี้จะทำให้เป็นโรคคอพอก

.... 1.9 ถ้าหลั่งฮอร์โมนมากเกินไปในวัยเด็ก จะทำให้ร่างกายสูงใหญ่ผิดปกติ

.... 1.10 สร้างฮอร์โมนเพื่อเตรียมมดลูกให้พร้อมในการรับการฝังตัวของเอ็มบริโอ

.... 1.11 สร้างฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ขับน้ำนม

2. จงเติมชื่อฮอร์โมนเป็นภาษาอังกฤษลงหน้าข้อความให้สัมพันธ์กัน

ADH	endorphin	melatonin	prolactin
calcitonin	GH	oxytocin	thyroxine
cortisol	insulin	progesterone	TSH

.... 2.1 เมื่อหลั่งออกมาทำให้รู้สึกมีความสุข หรือช่วยระงับความเจ็บปวด

.... 2.2 กระตุ้นการบีบตัวของมดลูก และกระตุ้นต่อมน้ำนมให้ขับน้ำนมออกมา

.... 2.3 ในเด็กหากร่างกายสร้างฮอร์โมนนี้ได้น้อย จะทำให้ร่างกายเตี้ยแคระแขน ขาสั้น เจริญเติบโตช้ากว่าปกติ และปัญญาอ่อน ที่เรียกว่าเครทินิซึม

.... 2.4 กระตุ้นการสะสมแคลเซียมที่กระดูก ทำงานร่วมกับฮอร์โมนจากต่อมพาราไทรอยด์และวิตามิน D

.... 2.5 ผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานโดยที่ร่างกายมีการสร้างฮอร์โมนนี้เป็นปกติ แต่ตัวรับผิดปกติจะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูง

.... 2.6 มีหน้าที่ควบคุมเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โดยการเปลี่ยนโปรตีนกับลิพิดเป็นกลูโคส

.... 2.7 ถ้าไม่มีการปฏิสนธิ ฮอร์โมนนี้จะลดลงทำให้เยื่อบุผนังมดลูกสลายตัว

.... 2.8 มีหน้าที่ควบคุมการดูดกลับน้ำของท่อหน่วยไตและกระตุ้นให้อาร์เทอรีหดตัว

.... 2.9 เมื่อร่างกายขาดไอโอดีนจะส่งผลให้ฮอร์โมนนี้เพิ่มสูงขึ้นและมีผลทำให้เป็นโรคคอพอก

.... 2.10 ทำหน้าที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์ไม่ให้เติบโตเร็วเกินไปก่อนถึงช่วงวัยเจริญพันธุ์ และทำให้ร่างกายรับรู้ว่าเป็นเวลากลางวันหรือกลางคืน

3. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

...... 3.1 ฮอร์โมนของร่างกายสร้างมาจากต่อมไร้ท่อเท่านั้น

....

...... 3.2 การขาดไอโอดีนในอาหาร จะทำให้สูญเสียความสามารถของการควบคุมแบบป้อนกลับยับยั้งของฮอร์โมนระหว่างต่อมไทรอยด์ ต่อมใต้สมอง และไฮโพทาลามัส

....

...... 3.3 คนปกติที่อดอาหารนาน 24 ชั่วโมง จะมีระดับน้ำตาลในเลือดต่ำกว่าคนปกติที่ไม่อดอาหาร

....

...... 3.4 ในกรณีที่คนไข้มีภาวะขาดน้ำตาล อวัยวะที่ต้องทำงานมากขึ้นคือ ตับอ่อน ต่อมไทรอยด์ และต่อมหมวกไต

....

...... 3.5 ถ้าเกิดลิ่มเลือดอุดกั้นการไหลของเลือดจากไฮโพทาลามัสมายังต่อมใต้สมองส่วนหลังอาจมีผลทำให้ปัสสาวะมากและเจือจางได้

....

...... 3.6 แร่ธาตุที่จำเป็นที่สุดสำหรับการเปลี่ยนสภาพจากลูกอ๊อดมาเป็นตัวกบคือแคลเซียม

....

...... 3.7 ในภาวะปกติ เพศหญิงไม่สามารถสร้างฮอร์โมนเพศชายได้

....

...... 3.8 ฮอร์โมนจากต่อมพาราไทรอยด์มีผลเพิ่มระดับแคลเซียมในเลือด ถ้าต่อมนี้เกิดเนื้องอก น่าจะมีผลทำให้เกิดโรคกระดูกพรุนหรือกระดูกบางได้

....

...... 3.9 ฮอร์โมนจากไทมัสทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย

....

...... 3.10 ปริมาณการหลั่งเมลาโทนินจากต่อมไพเนียลจะแปรผกผันกับช่วงเวลาที่ได้รับแสง ดังนั้นในฤดูร้อนจึงหลั่งเมลาโทนินมากกว่าฤดูหนาว

....

...... 3.11 ต่อมไทรอยด์สร้างฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ควบคุมสมดุลของแคลเซียมในเลือดและอัตราเมแทบอลิซึมของร่างกาย

....

...... 3.12 ไฮโพทาลามัสเป็นแหล่งผลิตและหลั่งฮอร์โมนที่มากระตุ้นหรือยับยั้งการสังเคราะห์ฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหลัง

....

...... 3.13 การขาดโกรทฮอร์โมนตั้งแต่วัยเด็กจะทำให้เด็กมีสภาพแคระ

....

...... 3.14 ผู้ที่กินยาที่มีคอร์ทิโคสเตอรอยด์เป็นส่วนผสมเพื่อป้องกันอาการแพ้หรืออักเสบติดต่อกันเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดกลุ่มอาการคูชิงได้

....

4. ในการใช้ชุดตรวจการตั้งครรภ์โดยการทดสอบปัสสาวะ เพื่อตรวจหา hCG จงตอบคำถามต่อไปนี้
   4.1 เพราะเหตุใดจึงสามารถตรวจพบ hCG ในปัสสาวะ
   4.2 เพราะเหตุใดจึงสามารถตรวจ hCG ได้ในช่วงแรกของการตั้งครรภ์

5. ลุงสมจิตรและป้าสมหวังถูกตรวจพบว่าเป็นโรคเบาหวาน หลังจากพบแพทย์ แพทย์ได้นัดให้ลุงสมจิตรมาฉีดอินซูลินทุกวันเพื่อควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือด รวมทั้งควบคุมอาหารและออกกำลังกายเพิ่มขึ้น ขณะที่แพทย์แนะนำป้าสมหวังให้ควบคุมอาหารและออกกำลังกายเพิ่มขึ้น ไม่ฉีดอินซูลิน เมื่อป้าสมหวังทราบจึงรู้สึกไม่พอใจที่ไม่ได้รับการรักษาโดยการฉีดอินซูลินเหมือนลุงสมจิตร นักเรียนจะใช้ความรู้เรื่องฮอร์โมนอธิบายให้ป้าสมหวังเข้าใจได้อย่างไร

6. ผู้ป่วยโรคเบาจืดมีอาการปัสสาวะปริมาณมากและเจือจาง แพทย์วินิจฉัยว่าเกิดจากความผิดปกติของฮอร์โมน นักเรียนทราบหรือไม่ว่าผู้ป่วยมีความผิดปกติของฮอร์โมนชนิดใดและฮอร์โมนนี้สร้างและหลั่งจากที่ใด

7. ผู้ที่มีร่างกายเตี้ยแคระซึ่งเป็นผลมาจากฮอร์โมนแสดงว่าขาดฮอร์โมนชนิดใด

8. เมื่อทำการทดลองโดยการตัดตับอ่อนของหนูออกไป พบว่าหนูไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ ทำให้ระดับน้ำตาลสูงขึ้น จากนั้นนำตับอ่อนของหนูอีกตัวมาปลูกถ่ายไว้
   8.1 นักเรียนคาดว่าระดับน้ำตาลในเลือดของหนูที่ได้รับการปลูกถ่ายตับอ่อนจะเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด
   8.2 ถ้าหนูตัวที่ปลูกถ่ายตับอ่อนมีระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ กลุ่มเซลล์ชนิดใดจากตับอ่อนจะสร้างฮอร์โมนอะไร และฮอร์โมนนั้นทำหน้าที่อะไร

9. ถ้านักเรียนรู้สึกแสบท้อง และมีกรดมากเกินไปในกระเพาะอาหาร คาดว่านักเรียนอาจมีฮอร์โมนชนิดใดในปริมาณมากกว่าปกติ

10. จงเขียนแผนภาพและอธิบายการควบคุมการหลั่งคอร์ทิซอลแบบป้อนกลับยับยั้ง เมื่ออยู่ในภาวะที่มีความกดดันหรือการแข่งขัน เช่น การแข่งกีฬาที่ทำให้ระดับคอร์ทิซอลเพิ่มสูงขึ้น

บทที่ 21 | ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต

ipst.me/10777



ในระหว่าง 9 เดือนของการตั้งครรภ์ พ่อแม่สามารถทราบถึงการเจริญเติบโตและสุขภาพของลูกในครรภ์ได้โดยวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจคืออัลตราซาวด์ ซึ่งเป็นการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงสะท้อนกับอวัยวะแล้วบันทึกเป็นภาพ เพื่อใช้ในการตรวจติดตามการเจริญเติบโตของลูก คาดคะเนกำหนดวันคลอด ตรวจการตั้งครรภ์แฝด รวมถึงวินิจฉัยเบื้องต้นเกี่ยวกับความผิดปกติของลูก โดยการเจริญเติบโตจะเริ่มตั้งแต่ไซโกตที่เป็นเพียงเซลล์หนึ่งเซลล์ซึ่งเกิดจากการปฏิสนธิระหว่างเซลล์ไข่และสเปิร์ม จากนั้นมีการแบ่งเซลล์และสร้างอวัยวะต่าง ๆ เมื่อคลอดออกมาจะเจริญเติบโตจนเป็นผู้ใหญ่พร้อมที่จะสืบพันธุ์ให้ลูกหลานต่อไป

การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตเป็นลักษณะเฉพาะของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดเพื่อดำรงพันธุ์ไม่ให้สูญพันธุ์ **ถ้าสัตว์ไม่มีการสืบพันธุ์จะเกิดผลอย่างไร สัตว์มีการเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยที่พร้อมจะสืบพันธุ์และให้ลูกหลานต่อไปได้อย่างไร**

คำถามสำคัญ

1. **การสืบพันธุ์ของสัตว์มีความสำคัญอย่างไร**
2. **การเจริญเติบโตของสัตว์มีกระบวนการอย่างไร**
3. **ระบบสืบพันธุ์ของมนุษย์มีโครงสร้างและหน้าที่อย่างไร**
4. **การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ การปฏิสนธิ และการเจริญเติบโตของมนุษย์มีกระบวนการอย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในสัตว์
2. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะในระบบสืบพันธุ์เพศชายและระบบสืบพันธุ์เพศหญิง
3. อธิบายกระบวนการสร้างสเปิร์ม กระบวนการสร้างเซลล์ไข่ และการปฏิสนธิในมนุษย์
4. อธิบายความสัมพันธ์ของการตกไข่และการมีประจำเดือนกับการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนในเพศหญิง
5. อธิบายการเจริญเติบโตระยะเอ็มบริโอและระยะหลังเอ็มบริโอของกบ ไก่ และมนุษย์

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. สัตว์สามารถสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศได้
2. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ร่างกายจะได้เซลล์ลูกที่มีข้อมูลทางพันธุกรรมแตกต่างไปจากเซลล์เดิม
3. การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของสัตว์เกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ซึ่งจะได้เซลล์ที่เป็นดิพลอยด์
4. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสสามารถเกิดขึ้นได้กับทุกเซลล์ในร่างกาย
5. สเปิร์มของมนุษย์มีโครโมโซมจำนวน 23 แท่ง
6. เมื่อเซลล์ไข่ปฏิสนธิกับสเปิร์มจะได้ไซโกต
7. ในระบบสืบพันธุ์ของมนุษย์ รังไข่ทำหน้าที่สร้างเซลล์ไข่และองคชาตทำหน้าที่สร้างสเปิร์ม
8. ลูกที่เกิดจากพ่อแม่เดียวกันจะมีลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันเป็นผลเนื่องจากการรวมของเซลล์ไข่และสเปิร์มในการปฏิสนธิเป็นไปอย่างสุ่ม
9. FSH กระตุ้นการเจริญของรังไข่และอัณฑะให้สร้างเซลล์สืบพันธุ์
10. เอ็มบริโอจะฝังตัวในมดลูกของแม่และได้รับสารอาหาร แก๊สออกซิเจน และแอนติบอดีจากแม่

สิ่งมีชีวิตมีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากสิ่งไม่มีชีวิต คือ มีการสืบพันธุ์และมีการเจริญเติบโต สิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นสัตว์ พืช หรือสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวต่างมี**การสืบพันธุ์** (reproduction) เพื่อเพิ่มจำนวนสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกัน ส่งผลให้มีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากรุ่นพ่อแม่ไปสู่รุ่นลูก การสืบพันธุ์จึงเป็นลักษณะสำคัญของสิ่งมีชีวิตให้สามารถดำรงพันธุ์ไว้ได้ นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตมี**การเจริญ** (development) และ **การเติบโต** (growth) ตลอดช่วงชีวิตตั้งแต่เกิด เป็นตัวเต็มวัย จนเข้าสู่วัยชรา โดยเซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีการเพิ่มจำนวนและขนาด รวมทั้งมีการเปลี่ยนสภาพของเซลล์เพื่อทำหน้าที่เฉพาะ แล้วพัฒนาเป็นระบบต่าง ๆ ในร่างกาย **การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของสัตว์มีกระบวนการอย่างไร**

21.1 การสืบพันธุ์ของสัตว์

การสืบพันธุ์ของสัตว์มีทั้งการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ซึ่งสัตว์ส่วนใหญ่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ

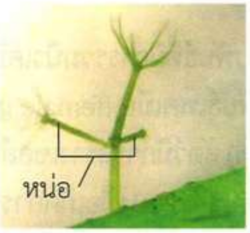
21.1.1 การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) เป็นการสืบพันธุ์ที่ไม่มีการรวมกันของเซลล์สืบพันธุ์ สัตว์บางชนิดจะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสทำให้ได้ลูกจำนวนมากในเวลาสั้น ลูกจะมีลักษณะและข้อมูลทางพันธุกรรมที่เหมือนกับสัตว์ที่ให้กำเนิด ซึ่งเมื่อสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปอาจส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของประชากรของสัตว์นั้นได้ การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศจะพบในสัตว์ที่มีโครงสร้างร่างกายไม่ซับซ้อน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

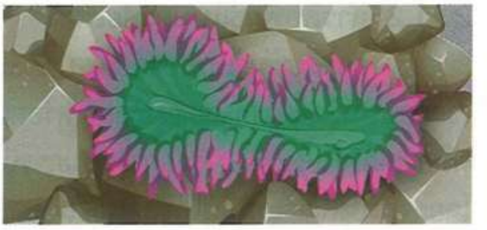
- ไฮดราสามารถสืบพันธุ์โดย**การแตกหน่อ** (budding) ดังรูป 21.1 โดยกลุ่มเซลล์ของไฮดราจะมีการแบ่งเซลล์ได้เป็น**หน่อ** (bud) จากนั้นจะพัฒนาเป็นตัวใหม่ที่มีลักษณะเหมือนตัวเดิมแต่มีขนาดเล็กกว่า ต่อมาหน่อจะหลุดออกจากตัวเดิมแล้วเจริญเติบโตต่อไป
- ดอกไม้ทะเลบางชนิดสามารถสืบพันธุ์โดย**การแบ่งแยกตัว** (fission) ดังรูป 21.2 ซึ่งจะแบ่งเป็นตัวใหม่ 2 ตัวที่มีขนาดใกล้เคียงกัน
- พลานาเรียสามารถสืบพันธุ์โดย**การงอกใหม่** (regeneration) ดังรูป 21.3 เมื่อชิ้นส่วนของร่างกายเกิดการหักหรือขาดออก (fragmentation) ชิ้นส่วนที่ขาดออกไปจะสามารถเจริญเติบโตเป็นตัวใหม่ได้ และตัวเดิมสามารถงอกชิ้นส่วนใหม่มาทดแทนส่วนที่ขาดออกได้

? การสืบพันธุ์ด้วยการแตกหน่อแตกต่างจากการแบ่งแยกตัวอย่างไร

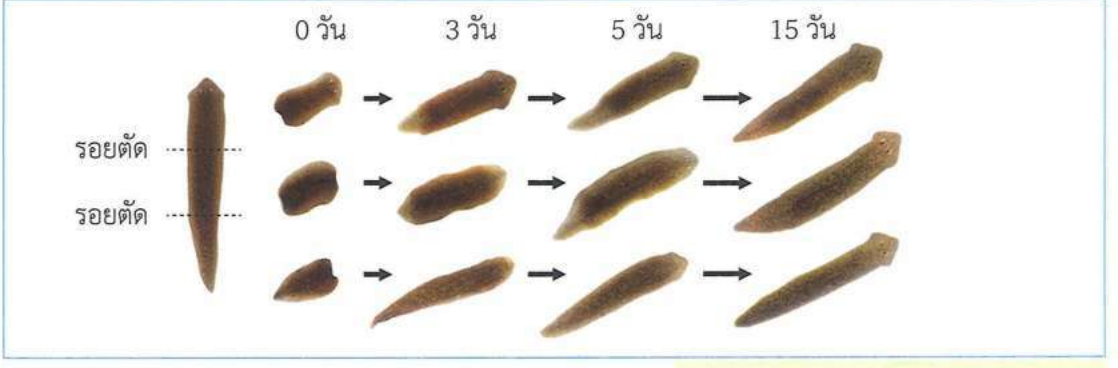
? สัตว์ที่มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศมีชนิดใดอีกบ้าง จงยกตัวอย่าง



รูป 21.1 การแตกหน่อของไฮดรา



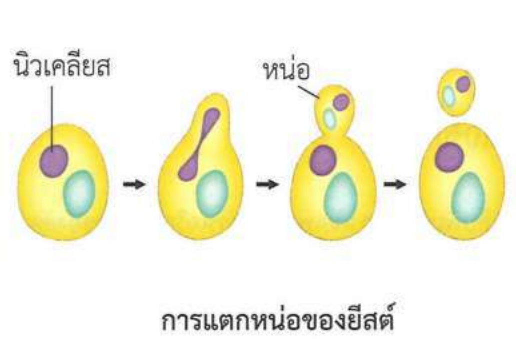
รูป 21.2 การแบ่งแยกตัวของดอกไม้ทะเล



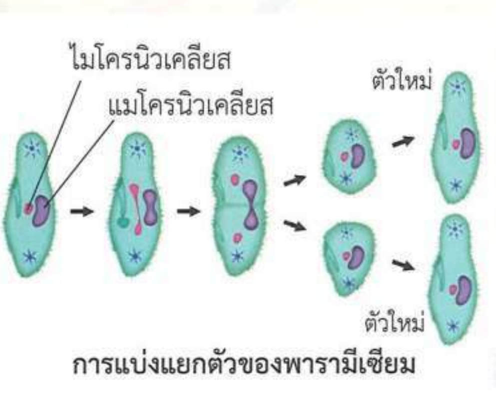
รูป 21.3 การงอกใหม่ของพลานาเรีย

ความรู้เพิ่มเติม

โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ เช่น ยีสต์สืบพันธุ์ด้วยการแตกหน่อ พารามีเซียมและอะมีบาสืบพันธุ์ด้วยการแบ่งแยกตัว นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวบางชนิด เช่น แบคทีเรียและพารามีเซียม มีกลไกในการถ่ายทอดสารพันธุกรรมที่คล้ายกับการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ โดยมีการจับคู่กันและแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมเรียกว่าคอนจูเกชัน (conjugation)



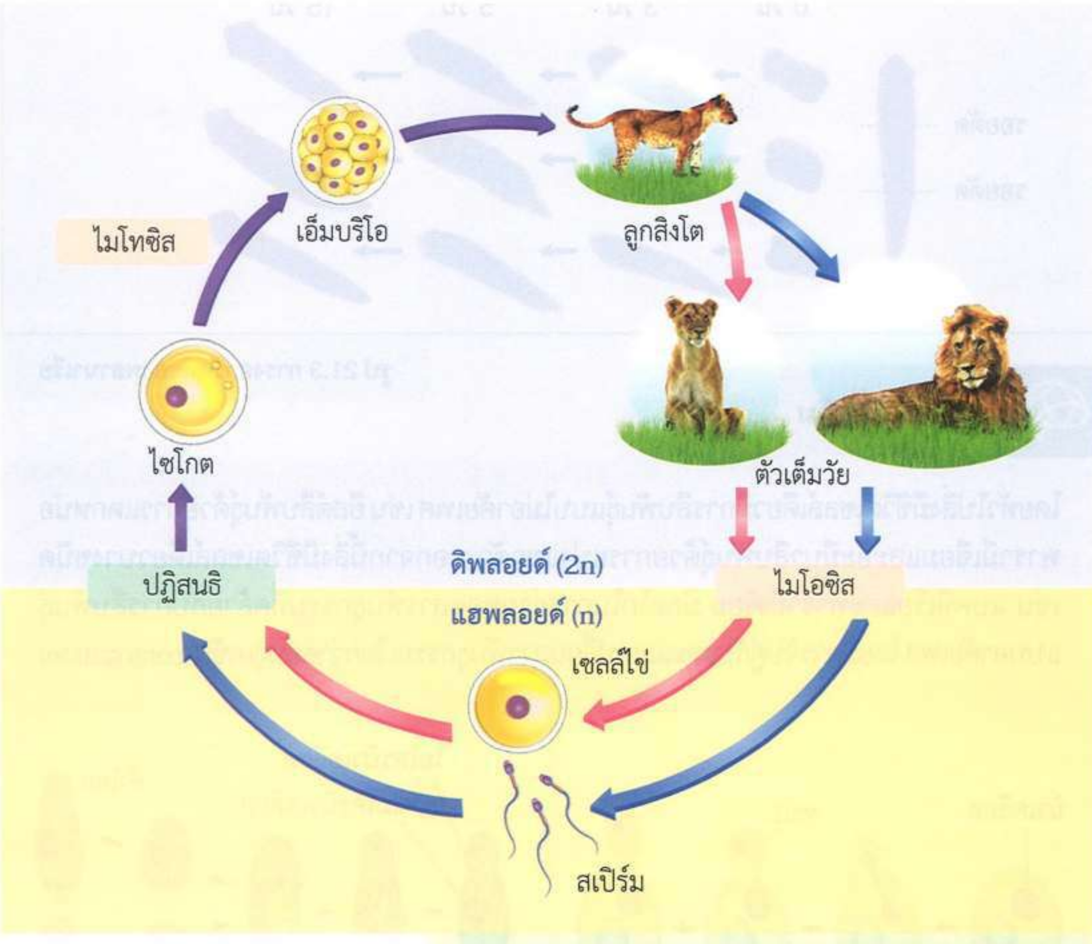
การแตกหน่อของยีสต์



การแบ่งแยกตัวของพารามีเซียม

21.1.2 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ

การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) เป็นการสืบพันธุ์ที่มีการรวมนิวเคลียสของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ (male gamete) หรือ**สเปิร์ม** (sperm) กับเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย (female gamete) หรือ**เซลล์ไข่** (egg cell) เรียกกระบวนการนี้ว่า**การปฏิสนธิ** (fertilization) สัตว์มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์โดยการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ซึ่งจะได้เซลล์สืบพันธุ์ที่เป็นแฮพลอยด์ (haploid; n) เมื่อเกิดการปฏิสนธิจะได้เป็น**ไซโกต** (zygote) ที่เป็นดิพลอยด์ (diploid; 2n) จากนั้นไซโกตจะเจริญเติบโตเป็น**เอ็มบริโอ** (embryo) และเป็นตัวเต็มวัยที่สามารถสืบพันธุ์เพิ่มจำนวนประชากรต่อไปได้ ดังรูป 21.4



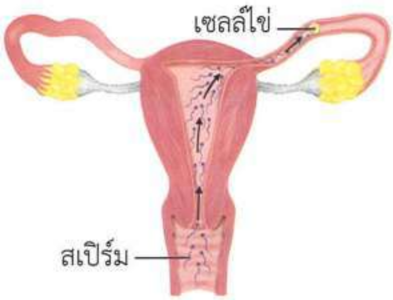
รูป 21.4 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและการเจริญเติบโตของสัตว์

? เพราะเหตุใดในการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศจึงได้ลูกที่มีลักษณะหลากหลายและแตกต่างจากพ่อและแม่ ความหลากหลายที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลต่อการอยู่รอดของสัตว์ชนิดนั้นอย่างไร

การปฏิสนธิของสัตว์อาจเกิดภายนอกหรือภายในร่างกายของสัตว์เพศเมีย **การปฏิสนธิภายนอก** (external fertilization) ส่วนใหญ่จะเกิดในสัตว์ที่อาศัยในน้ำหรือบริเวณที่มีความชื้น เช่น ปลาส่วนใหญ่ กบ และเม่นทะเล โดยเซลล์สืบพันธุ์จะถูกปล่อยออกนอกร่างกาย ซึ่งต้องมีความชื้นเพียงพอที่สเปิร์มจะสามารถว่ายไปหาเซลล์ไข่เพื่อเกิดการปฏิสนธิได้ ดังรูป 21.5 ส่วน**การปฏิสนธิภายใน** (internal fertilization) สเปิร์มจะถูกปล่อยภายในระบบสืบพันธุ์ของเพศเมียและเกิดการปฏิสนธิภายในร่างกายของเพศเมีย ดังรูป 21.6



รูป 21.5 การปฏิสนธิภายนอก



รูป 21.6 การปฏิสนธิภายใน

อวัยวะที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ของสัตว์เพศผู้คืออัณฑะและสัตว์เพศเมียคือรังไข่ สัตว์ส่วนใหญ่จะมีอวัยวะสืบพันธุ์แยกเพศอยู่คนละตัว แต่มีสัตว์บางชนิดมีอวัยวะสืบพันธุ์ทั้งสองเพศอยู่ภายในตัวเดียว เรียกว่า **กะเทย** (hermaphrodite) เช่น พลานาเรีย หอยทาก และไส้เดือนดิน อย่างไรก็ตามการผสมพันธุ์โดยทั่วไปจะเป็นการผสมข้ามระหว่าง 2 ตัว ดังตัวอย่างในไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดิน 2 ตัวจะจับคู่สลับหัวสลับหางกัน ช่องรับสเปิร์มของตัวหนึ่งจะแนบกับถุงเก็บสเปิร์มของอีกตัวและมีการแลกเปลี่ยนสเปิร์มกัน ดังรูป 21.7 สเปิร์มจะถูกนำไปเก็บที่ถุงเก็บสเปิร์มของแต่ละตัว จากนั้นไส้เดือนดินจะแยกออกจากกัน ต่อมาอีก 2-3 วัน ไส้เดือนดินจะสร้างถุงหุ้มเซลล์ไข่และปล่อยเซลล์ไข่สู่ถุง ไส้เดือนดินเคลื่อนที่ให้ถุงหุ้มเซลล์ไข่ไปรับสเปิร์มที่ถุงเก็บสเปิร์ม แล้วจะเกิดการปฏิสนธิ จากนั้นจะปล่อยถุงที่มีเอ็มบริโอออกนอกตัว



รูป 21.7 การผสมพันธุ์ของไส้เดือนดิน

สัตว์ต่าง ๆ มีการสืบพันธุ์เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร และการสืบพันธุ์แต่ละแบบมีความสัมพันธ์กับการดำรงชีวิตของสัตว์อย่างไร

รู้หรือไม่

ผึ้งเป็นแมลงที่อาศัยรวมกันเป็นกลุ่ม ในหนึ่งรังจะมีผึ้งนางพญาซึ่งเป็นเพศเมียเพียงตัวเดียวที่สามารถวางไข่ได้ ผึ้งเพศเมียตัวอื่นจะเป็นผึ้งงานทำหน้าที่หาอาหาร โดยผึ้งเพศเมียเกิดจากการปฏิสนธิระหว่างสเปิร์มและเซลล์ไข่ แต่ผึ้งเพศผู้เกิดจากเซลล์ไข่ที่ไม่ได้รับการปฏิสนธิและเป็นแฮพลอยด์เรียกกระบวนการนี้ว่า พาร์ทีโนเจเนซิส (parthenogenesis) และผึ้งเพศผู้จะทำหน้าที่ผสมพันธุ์กับผึ้งนางพญา



ผึ้งนางพญา (2n) ผึ้งงาน (2n) ผึ้งเพศผู้ (n)

กิจกรรม 21.1 การสืบพันธุ์ของสัตว์

จุดประสงค์

สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในสัตว์

วิธีการทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการสืบพันธุ์ของสัตว์ที่สนใจ โดยรวบรวมข้อมูลในประเด็นต่อไปนี้
   - โครงสร้างของระบบสืบพันธุ์
   - จำนวนลูกที่เกิดในแต่ละรุ่น
   - พฤติกรรมการจับคู่ผสมพันธุ์
   - อายุขัยของสัตว์ และช่วงอายุที่เป็นวัยเจริญพันธุ์
   - วัฏจักรชีวิตของสัตว์
2. นำเสนอข้อมูลในชั้นเรียน และเปรียบเทียบกับการสืบพันธุ์ของสัตว์ชนิดต่าง ๆ

คำถามท้ายกิจกรรม

? สัตว์ที่มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศมีข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบกันอย่างไร

? สัตว์ที่มีการปฏิสนธิภายนอกและการปฏิสนธิภายในมีการดำรงชีวิตในสิ่งแวดล้อมเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? เมื่อเปรียบเทียบสัตว์ที่มีการปฏิสนธิภายนอกกับสัตว์ที่มีการปฏิสนธิภายใน จำนวนไข่และการอยู่รอดของลูกแตกต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด

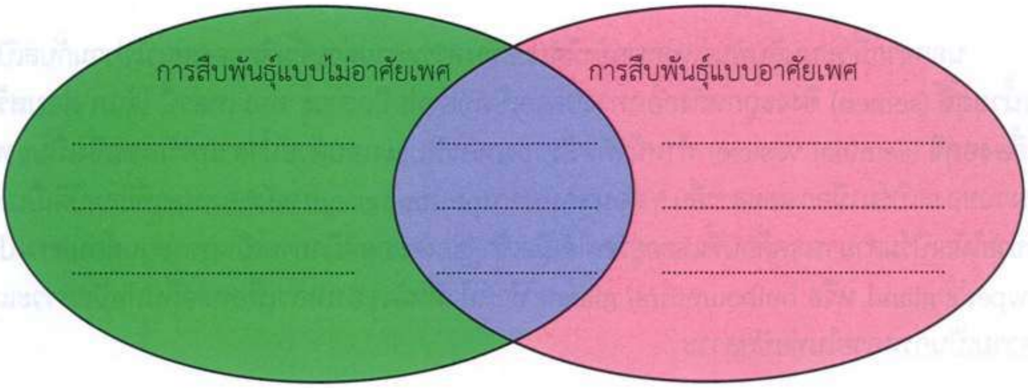
จากกิจกรรม จะเห็นได้ว่าการสืบพันธุ์ของสัตว์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยสัตว์กลุ่มเดียวกันมีการสืบพันธุ์ในรูปแบบที่คล้ายกัน สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังมีการสืบพันธุ์ทั้งแบบอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ ส่วนสัตว์มีกระดูกสันหลังมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและมีอวัยวะเพศแยกกันอยู่คนละตัว

สัตว์กลุ่มที่อาศัยในน้ำ เช่น ปลา ส่วนใหญ่เมื่อสร้างเซลล์ไข่และสเปิร์มแล้วจะลำเลียงออกมาปฏิสนธินอกตัว สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกมีวิวัฒนาการมาอาศัยบนบก แต่มีการผสมพันธุ์ในน้ำและเกิดการปฏิสนธิภายนอก มีการวางไข่ในน้ำหรือในที่ชื้นแฉะ ส่วนสัตว์เลื้อยคลานและนกเป็นสัตว์ที่มีวิวัฒนาการมาอาศัยบนบก มีการพัฒนาอวัยวะสืบพันธุ์ที่สามารถปล่อยสเปิร์มไปให้เพศเมียได้และเกิดการปฏิสนธิภายใน และวางไข่ที่ปฏิสนธิแล้วบนบก โดยภายในไข่มีของเหลวล้อมรอบเอ็มบริโอและไข่มีเปลือกหุ้มเพื่อป้องกันเอ็มบริโอ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมมีการปฏิสนธิภายใน เอ็มบริโอเจริญในมดลูก ได้รับสารอาหารจากแม่ผ่านทางรก และส่วนใหญ่จะออกลูกเป็นตัว

การสืบพันธุ์ของสัตว์จะเกิดขึ้นได้นั้นขึ้นกับหลายปัจจัย โดยจะเกิดเมื่อสัตว์มีการเจริญเติบโตและมีระบบสืบพันธุ์ที่เจริญเต็มที่แล้ว การผสมพันธุ์ของสัตว์ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและเกิดในช่วงเวลาที่เหมาะสมเรียกว่าฤดูผสมพันธุ์ นอกจากนี้สัตว์บางกลุ่มยังมีพฤติกรรมเกี้ยวพาราสีและมีการจับคู่ผสมพันธุ์เพื่อเพิ่มโอกาสในการปฏิสนธิ

ตรวจสอบความเข้าใจ

? จงสรุปและเปรียบเทียบการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของสัตว์ลงในแผนภาพ



21.2 การสืบพันธุ์ของมนุษย์

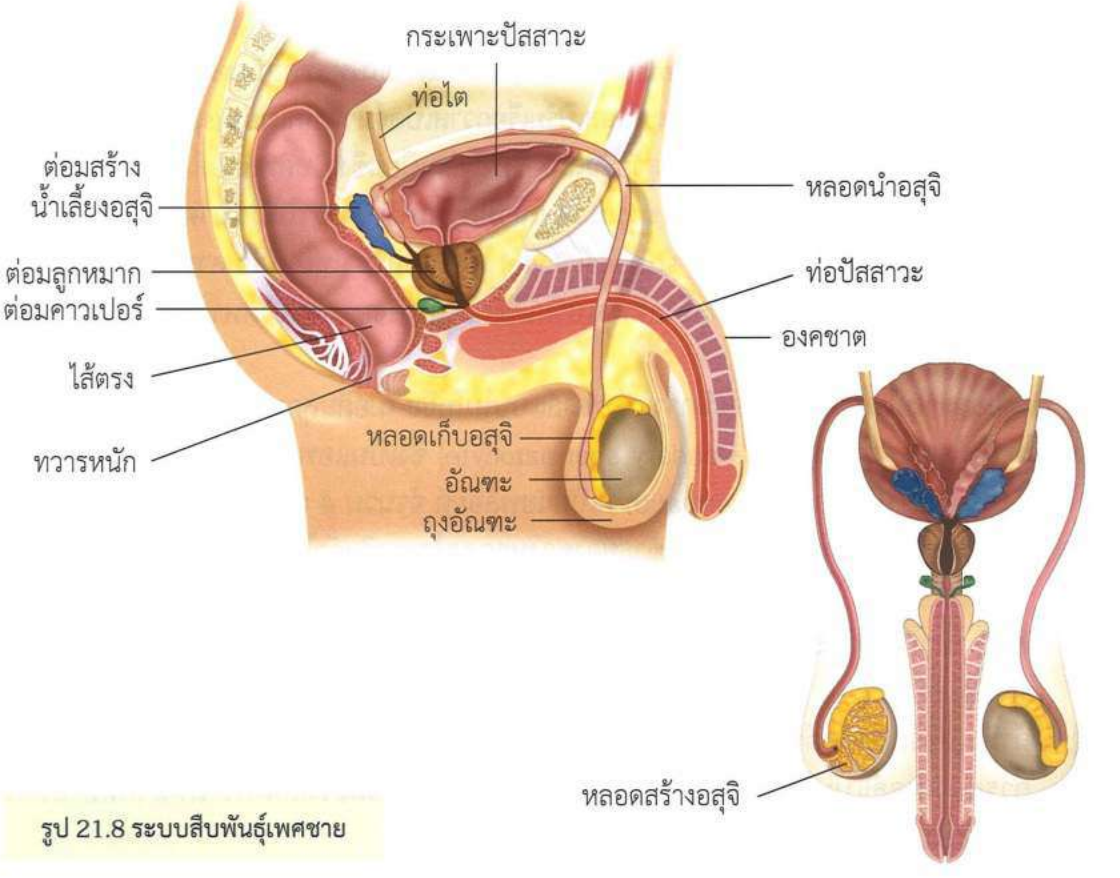
การสืบพันธุ์ของมนุษย์เป็นแบบอาศัยเพศเช่นเดียวกับสัตว์มีกระดูกสันหลังอื่น ๆ โดย **ระบบสืบพันธุ์** (reproductive system) ของมนุษย์ประกอบด้วยอวัยวะที่ทำหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ ในเพศชายคืออัณฑะสร้างสเปิร์ม ในเพศหญิงคือรังไข่สร้างเซลล์ไข่ นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างอื่น ๆ ทำหน้าที่ช่วยเกี่ยวกับการสืบพันธุ์ เช่น ลำเลียงเซลล์สืบพันธุ์ สร้างฮอร์โมนเพศ และเป็นที่ฝังตัวของเอ็มบริโอ โดยหัวข้อนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะในระบบสืบพันธุ์ กระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ การปฏิสนธิและการตั้งครรภ์

21.2.1 ระบบสืบพันธุ์เพศชาย

ระบบสืบพันธุ์เพศชายประกอบด้วยอวัยวะหลายอวัยวะที่ทำงานสัมพันธ์กัน ดังรูป 21.8 **อัณฑะ** (testis) ทำหน้าที่สร้าง**สเปิร์มหรืออสุจิ** (sperm) และเทสโทสเทอโรน อัณฑะอยู่บริเวณนอกช่องท้อง และถูกห่อหุ้มด้วย**ถุงอัณฑะ** (scrotum) ซึ่งจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของร่างกายประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส เหมาะกับการเจริญของสเปิร์ม ภายในอัณฑะประกอบด้วย**หลอดสร้างอสุจิ** (seminiferous tubule) มีลักษณะเป็นท่อยาวขดไปมา ภายในหลอดสร้างอสุจิมีเซลล์ต้นกำเนิดที่จะมีการแบ่งเซลล์และเจริญเป็นสเปิร์มต่อไป

สเปิร์มที่สร้างขึ้นจากหลอดสร้างอสุจิจะเคลื่อนมาเก็บที่**หลอดเก็บอสุจิ** (epididymis) แล้วมีการพัฒนาต่อจนเจริญเต็มที่ เมื่อจะมีการหลั่งน้ำอสุจิ สเปิร์มจะเคลื่อนจากหลอดเก็บอสุจิต่อไปยัง**หลอดนำอสุจิ** (vas deferens) ซึ่งวกขึ้นไปเหนือขอบกระดูกเชิงกราน จากนั้นรวมกับท่อจากต่อมสร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ และมีปลายเปิดเข้าสู่**ท่อปัสสาวะ** (urethra) ที่อยู่ใน**องคชาต** (penis)

นอกจากนี้ ระบบสืบพันธุ์เพศชายยังมีต่อมสร้างสารหลายต่อมที่ผลิตของเหลวไปรวมกับสเปิร์มเป็น**น้ำอสุจิ** (semen) ซึ่งจะถูกหลั่งออกทางปลายเปิดของท่อปัสสาวะ ต่อมเหล่านี้ ได้แก่ **ต่อมสร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ** (seminal vesicle) ทำหน้าที่หลั่งของเหลวที่ประกอบด้วยน้ำตาลฟรักโทสซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของสเปิร์ม เมือก และสารอื่น ๆ **ต่อมลูกหมาก** (prostate gland) หลั่งของเหลวที่มีสมบัติเป็นเบสเพื่อช่วยให้สเปิร์มสามารถเคลื่อนที่และอยู่รอดได้เมื่อเข้าสู่ช่องคลอดที่มีสภาพเป็นกรด ส่วน**ต่อมคาวเปอร์** (Cowper's gland หรือ bulbourethral gland) ทำหน้าที่หลั่งของเหลวเพื่อหล่อลื่นท่อปัสสาวะและลดความเป็นกรดภายในท่อปัสสาวะ



รูป 21.8 ระบบสืบพันธุ์เพศชาย

? สเปิร์มที่สร้างจากหลอดสร้างอสุจิเคลื่อนออกนอกร่างกายโดยผ่านโครงสร้างใดบ้าง

? อัณฑะเจริญภายในช่องท้องและก่อนคลอดจะเคลื่อนมาอยู่ในถุงอัณฑะ ถ้าอัณฑะไม่เคลื่อนมาอยู่ในถุงอัณฑะจะมีผลอย่างไร

? ของเหลวที่หลั่งจากต่อมต่าง ๆ ในระบบสืบพันธุ์เพศชายช่วยในการลำเลียงสเปิร์มเข้าสู่ระบบสืบพันธุ์เพศหญิงอย่างไร

รู้หรือไม่

ท่อปัสสาวะในเพศชายเป็นทางผ่านของปัสสาวะและน้ำอสุจิ แต่การขับปัสสาวะและการหลั่งน้ำอสุจิจะไม่เกิดในเวลาเดียวกัน เนื่องจากกล้ามเนื้อหูรูด (sphincter muscle) ในกระเพาะปัสสาวะจะช่วยควบคุมไม่ให้ปัสสาวะออกจากกระเพาะปัสสาวะในระหว่างที่มีการหลั่งน้ำอสุจิ

กระบวนการสร้างสเปิร์ม

กระบวนการสร้างสเปิร์ม (spermatogenesis) เกิดขึ้นภายในหลอดสร้างอสุจิในอัณฑะ ดังรูป 21.10 โดยเริ่มจากเซลล์ต้นกำเนิดที่จะเจริญเป็นสเปิร์มเรียกว่า**สเปอร์มาโทโกเนียม** (spermatogonium) ซึ่งพบบริเวณผนังหลอดสร้างอสุจิ เมื่อเข้าสู่วัยรุ่นสเปอร์มาโทโกเนียมซึ่งเป็นดิพลอยด์ (2n) จะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสได้สเปอร์มาโทโกเนียมจำนวนมาก แล้วมีส่วนหนึ่งพัฒนาให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่า **สเปอร์มาโทไซต์ระยะแรก** (primary spermatocyte) โดยสเปอร์มาโทโกเนียมสามารถแบ่งเซลล์ได้ตลอดช่วงวัยเจริญพันธุ์ ดังนั้นเพศชายจึงสร้างสเปิร์มได้ตั้งแต่วัยรุ่นจนตลอดชีวิตหากมีร่างกายแข็งแรง

สเปอร์มาโทไซต์ระยะแรกจะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เมื่อสิ้นสุดระยะไมโอซิส I จะได้เป็น **สเปอร์มาโทไซต์ระยะที่สอง** (secondary spermatocyte) ซึ่งเป็นแฮพลอยด์ (n) เมื่อสิ้นสุดระยะไมโอซิส II จะได้**สเปอร์มาทิด** (spermatid) ที่เป็นแฮพลอยด์ จำนวน 4 เซลล์ จากนั้นสเปอร์มาทิดมีการเปลี่ยนสภาพเป็นสเปิร์ม และเคลื่อนเข้าสู่ช่องของหลอดสร้างอสุจิแล้วไปยังหลอดเก็บอสุจิต่อไป

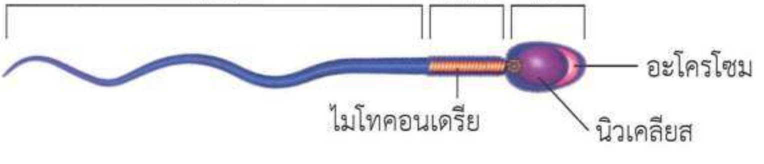
? สเปอร์มาโทไซต์ระยะแรกและสเปอร์มาโทไซต์ระยะที่สองมีจำนวนโครโมโซมแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

? ถ้ามีสเปอร์มาโทไซต์ระยะแรกจำนวน 400 เซลล์จะสร้างสเปิร์มได้กี่เซลล์

? การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสในกระบวนการสร้างสเปิร์มส่งผลให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมในรุ่นลูกอย่างไร

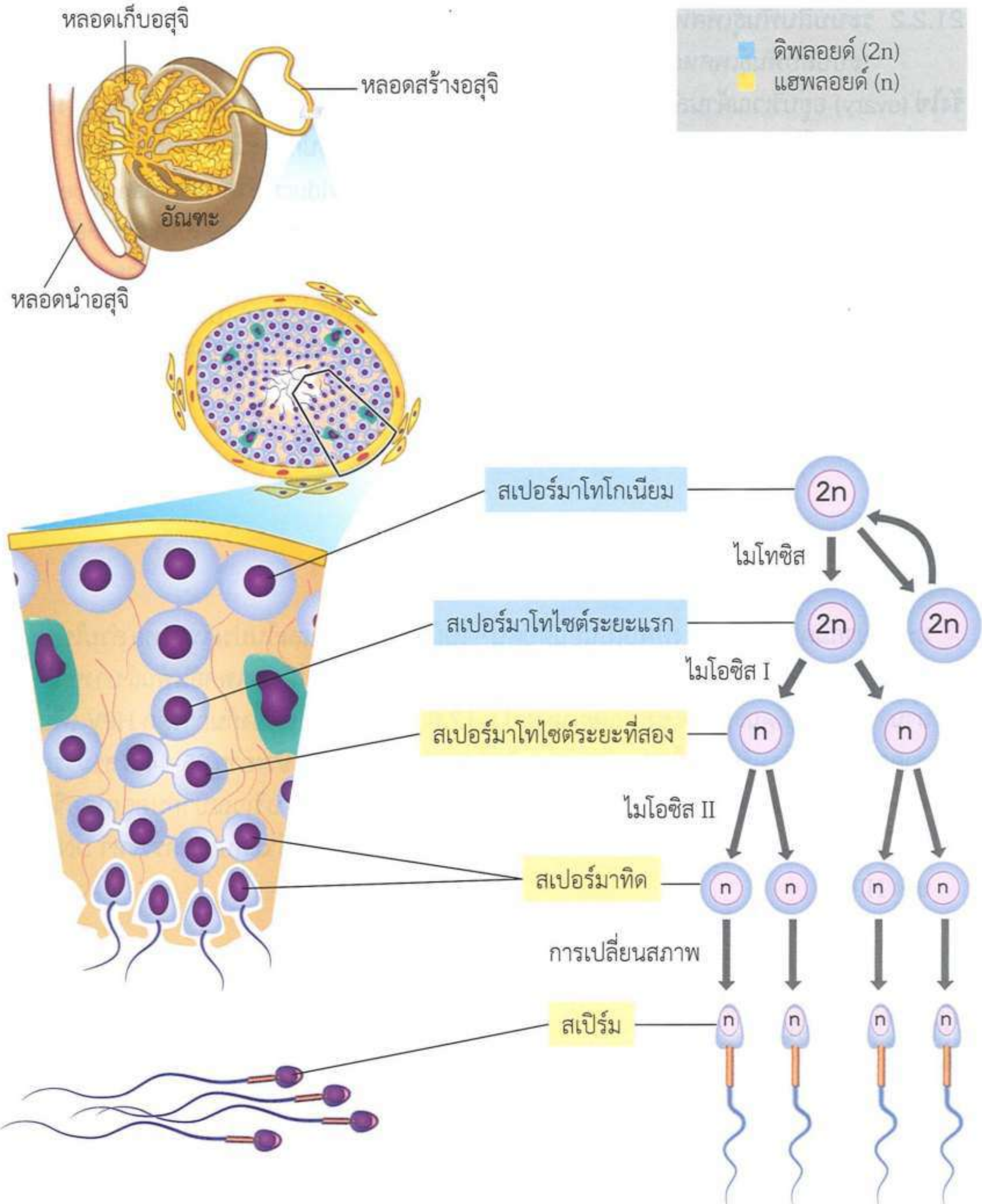
สเปิร์ม

ส่วนหัวของสเปิร์มมีนิวเคลียสที่มีชุดของโครโมโซม 1 ชุด มีไซโทพลาซึมน้อย บริเวณปลายสุดของหัวมี**อะโครโซม** (acrosome) ซึ่งเป็นถุงที่มีเอนไซม์สำหรับย่อยเยื่อหุ้มเซลล์ไข่ ส่วนลำตัวมีไมโทคอนเดรียช่วยสร้างพลังงานในการเคลื่อนที่ไปสู่เซลล์ไข่ และส่วนหางเป็นแฟลเจลลัมช่วยในการเคลื่อนที่ ดังรูป 21.9



รูป 21.9 โครงสร้างของสเปิร์ม

? สเปิร์มมีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการทำหน้าที่อย่างไร



รูป 21.10 กระบวนการสร้างสเปิร์ม

21.2.2 ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง

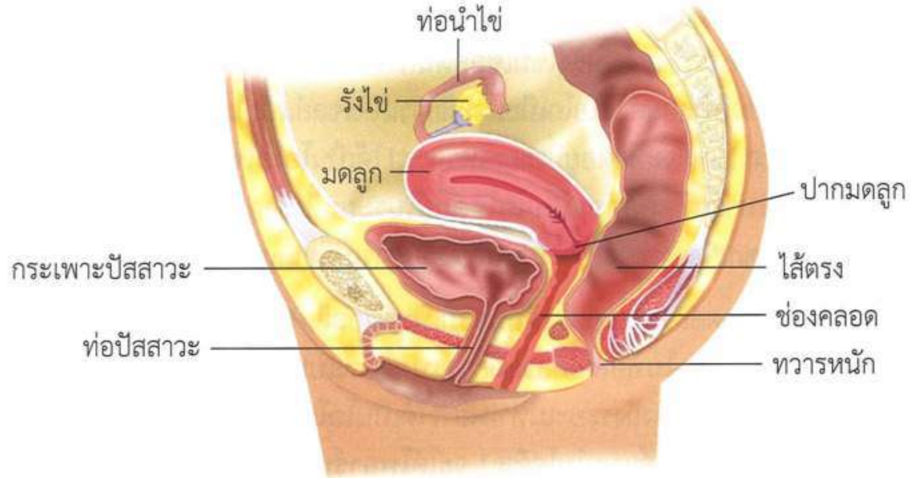
ระบบสืบพันธุ์เพศหญิงประกอบด้วยอวัยวะหลายอวัยวะที่ทำงานสัมพันธ์กัน ดังรูป 21.11 **รังไข่** (ovary) อยู่บริเวณด้านล่างของช่องท้องลึกเข้าไปในอุ้งเชิงกราน อยู่ที่สองข้างของมดลูก รังไข่ทำหน้าที่สร้าง**เซลล์ไข่** (egg cell หรือ ovum) และฮอร์โมนเพศหญิง โดยปกติจะมีการตกไข่ครั้งละ 1 เซลล์ในแต่ละรอบประจำเดือน โดยเซลล์ไข่จะเคลื่อนเข้าสู่**ท่อนำไข่** (oviduct หรือ fallopian tube) ทางปลายเปิดที่มีลักษณะคล้ายปากแตรและเคลื่อนไปตามท่อนำไข่โดยอาศัยการพัดโบกของซิเลียที่เซลล์เยื่อบุผิวของท่อนำไข่ จากนั้นจะเข้าสู่**มดลูก** (uterus) ซึ่งอยู่ด้านหลังของกระเพาะปัสสาวะ ผนังมดลูกประกอบด้วย 3 ชั้น ชั้นในมีเยื่อบุมดลูกหรือ**เอนโดมีเทรียม** (endometrium) เป็นบริเวณที่มีการฝังตัวของเอ็มบริโอ ซึ่งมีหลอดเลือดมาหล่อเลี้ยงมาก ถัดมาเป็นชั้นกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่บีบตัวระหว่างการคลอด และชั้นนอกเป็นเนื้อเยื่อที่มีลักษณะบางหุ้มชั้นกล้ามเนื้อ ส่วนของมดลูกตอนล่างจะแคบเข้าหากันเป็น**ปากมดลูก** (cervix) และเปิดออกสู่**ช่องคลอด** (vagina)

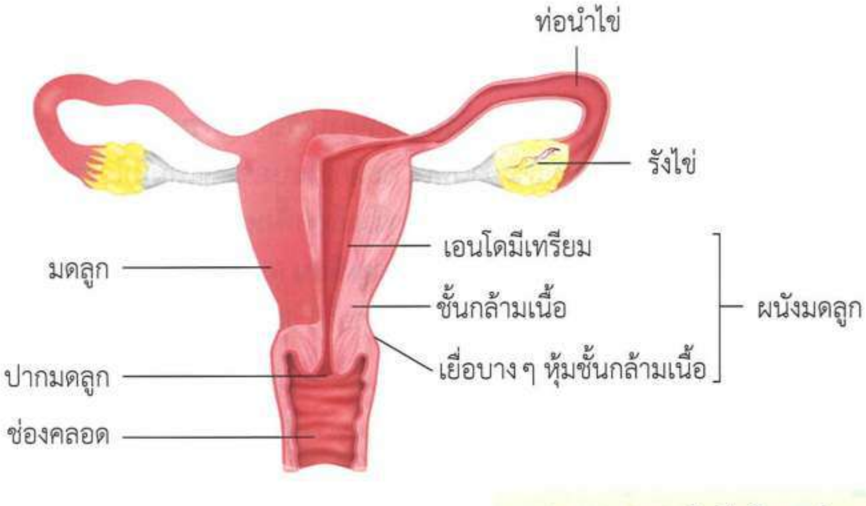
ความรู้เพิ่มเติม

มะเร็งปากมดลูกเป็นมะเร็งที่พบเป็นอันดับต้น ๆ ในผู้หญิงทั่วโลกและในประเทศไทย ส่วนใหญ่มีสาเหตุจากไวรัส HPV (human papillomavirus) สามารถติดต่อได้ทางเพศสัมพันธ์ บางชนิดสามารถก่อให้เกิดมะเร็งได้ ซึ่งเด็กหญิงอายุ 11-12 ปี จะได้รับวัคซีนป้องกันการติด HPV เพื่อช่วยลดโอกาสการเป็นมะเร็งปากมดลูก มะเร็งปากมดลูกพบมากในช่วงอายุ 35-44 ปี สามารถตรวจคัดกรองได้ด้วยการตรวจหาความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผิวบริเวณปากมดลูกโดยวิธี Pap smear (papanicolaou smear) หรือวิธี ThinPrep pap test ร่วมกับการตรวจหา DNA ของ HPV

รู้หรือไม่

อาการปวดท้องบริเวณอุ้งเชิงกรานในช่วงก่อนและช่วงต้นของการมีประจำเดือนเกิดจากการบีบตัวของกล้ามเนื้อมดลูกเพื่อขับเอนโดมีเทรียมให้หลุดลอกออก





รูป 21.11 ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง

ความรู้เพิ่มเติม

ในช่วงแรกเกิด เพศหญิงจะมีโอโอไซต์ระยะแรกอยู่ในรังไข่ประมาณ 2 ล้านเซลล์ โดยเมื่อเข้าสู่วัยรุ่นจะมีจำนวนลดลงเหลือประมาณ 300,000-400,000 เซลล์ ซึ่งมีประมาณ 400 เซลล์ที่จะเจริญจนเป็นโอโอไซต์ระยะที่สองและมีการตกไข่ ส่วนโอโอไซต์ระยะแรกที่เหลือจะฝ่อไป การตกไข่จะหยุดเมื่ออายุประมาณ 50 ปี ซึ่งแตกต่างจากการสร้างสเปิร์มที่เริ่มเกิดขึ้นในวัยรุ่นและเกิดต่อเนื่องตลอดชีวิต ในน้ำอสุจิมีสเปิร์มประมาณ 75-400 ล้านเซลล์ต่อมิลลิลิตร

กระบวนการสร้างเซลล์ไข่

กระบวนการสร้างเซลล์ไข่ (oogenesis) เกิดขึ้นภายในรังไข่ ดังรูป 21.12 โดยกระบวนการเริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่ยังเป็นเอ็มบริโอในครรภ์ ภายในรังไข่มีเซลล์ต้นกำเนิดที่จะเจริญเป็นเซลล์ไข่ที่เรียกว่า **โอโอโกเนียม** (oogonium) ซึ่งเป็นดิพลอยด์ โอโอโกเนียมจะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเพิ่มจำนวน จากนั้นจึงแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I และจะหยุดอยู่ที่ระยะโพรเฟส I ได้เป็น**โอโอไซต์ระยะแรก** (primary oocyte) ที่เป็นดิพลอยด์ โดยทารกที่คลอดจะมีโอโอไซต์อยู่ในระยะนี้ ซึ่งแต่ละเซลล์จะอยู่ภายใน **ฟอลลิเคิล** (follicle) โดยการพัฒนาของเซลล์ไข่จะเกิดพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของฟอลลิเคิล

เมื่อเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ ในแต่ละรอบประจำเดือนจะมีเพียงฟอลลิเคิลเดียวที่ได้รับการกระตุ้นให้เจริญเต็มที่ โดยโอโอไซต์ระยะแรกภายในฟอลลิเคิลจะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I จนเสร็จสิ้น แล้วมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส II ต่อจนกระทั่งถึงระยะเมทาเฟส II ได้เป็น**โอโอไซต์ระยะที่สอง** (secondary oocyte) นอกจากนี้หลังจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I จะได้**โพลาร์บอดี** (polar body) ที่เป็นเซลล์ขนาดเล็กซึ่งต่อมาจะสลายไป หลังจากฟอลลิเคิลเจริญเต็มที่จะถูกกระตุ้นให้แตกออกพร้อมกับปล่อยโอโอไซต์ระยะที่สองจากรังไข่เข้าสู่ท่อนำไข่ เรียกว่า **การตกไข่** (ovulation)

หลังจากการตกไข่ ถ้าโอโอไซต์ระยะที่สองได้รับการกระตุ้นจากการที่สเปิร์มเจาะที่ผิวเซลล์โอโอไซต์ระยะที่สองที่อยู่ในระยะเมทาเฟส II จะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส II ต่อไป จนได้เป็นเซลล์ไข่ที่เป็นแฮพลอยด์และโพลาร์บอดี ซึ่งไซโทพลาซึมเกือบทั้งหมดจะถูกแบ่งมายังเซลล์ไข่ และโพลาร์บอดีจะสลายไป ส่วนฟอลลิเคิลจะกลายเป็น**คอร์ปัสลูเทียม** (corpus luteum) ถ้าไม่เกิดการปฏิสนธิภายในประมาณ 24 ชั่วโมง โอโอไซต์ระยะที่สองจะสลายไป และในรอบประจำเดือนถัดไปจะมีการเจริญของฟอลลิเคิลชุดใหม่เกิดขึ้น

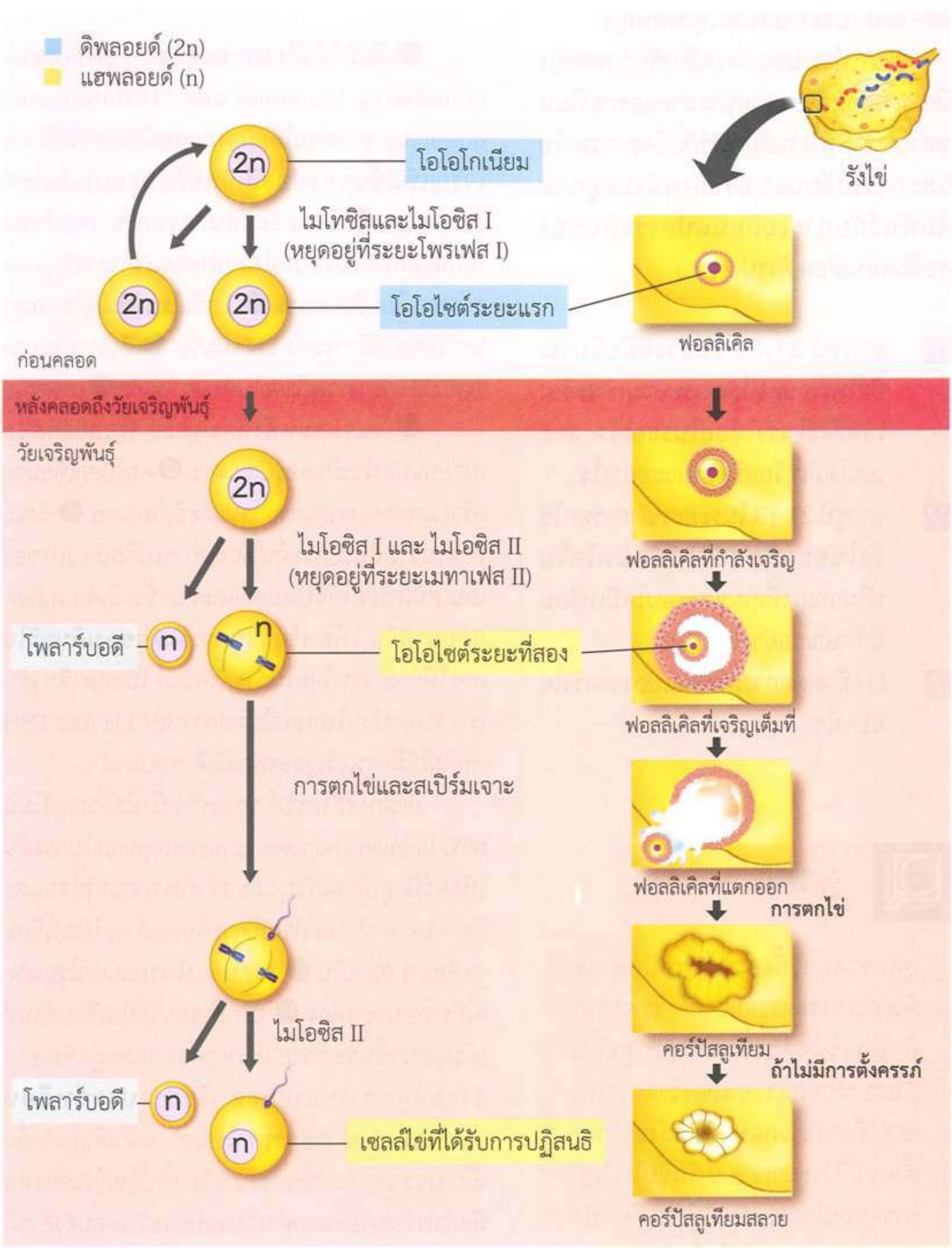
? แต่ละเซลล์ของโอโอไซต์ระยะแรกมีข้อมูลทางพันธุกรรมเหมือนหรือแตกต่างกัน เพราะเหตุใด

? โดยปกติเพศหญิงในช่วงวัยเจริญพันธุ์จะมีการตกไข่ครั้งละ 1 เซลล์ต่อรอบประจำเดือน ถ้าผู้หญิงคนหนึ่งเริ่มมีประจำเดือนครั้งแรกเมื่ออายุ 12 ปี และประจำเดือนหมดเมื่ออายุ 50 ปี ผู้หญิงคนนี้จะมีการตกไข่ทั้งหมดประมาณกี่เซลล์

? สเปิร์มและเซลล์ไข่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร และจำนวนเซลล์ที่สร้างในแต่ละครั้งมีจำนวนแตกต่างกันอย่างไร

ตรวจสอบความเข้าใจ

? เขียนแผนภาพเพื่อแสดงกระบวนการสร้างสเปิร์มและกระบวนการสร้างเซลล์ไข่ จากนั้นเปรียบเทียบและสรุปว่ากระบวนการทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างไร



รูป 21.12 กระบวนการสร้างเซลล์ไข่

ฮอร์โมนกับระบบสืบพันธุ์เพศหญิง

การทำงานของระบบสืบพันธุ์เพศหญิงมีการควบคุมด้วยระบบประสาทและฮอร์โมนหลายชนิดที่ทำงานสัมพันธ์กัน โดยการตกไข่และการเปลี่ยนแปลงของผนังมดลูกจะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับของฮอร์โมนในเลือด ดังรูป 21.13

? จากรูป 21.13 ในช่วงที่มีปริมาณอีสโทรเจนสูงที่สุด กระบวนการสร้างเซลล์ไข่ในรังไข่อยู่ในระยะใด และเอนโดมีเทรียมมีลักษณะอย่างไร

? จากรูป 21.13 ในระยะหลังการตกไข่ รังไข่จะผลิตฮอร์โมนชนิดใดในปริมาณสูงที่สุด และเอนโดมีเทรียมมีลักษณะอย่างไร

? LH มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของรังไข่อย่างไร

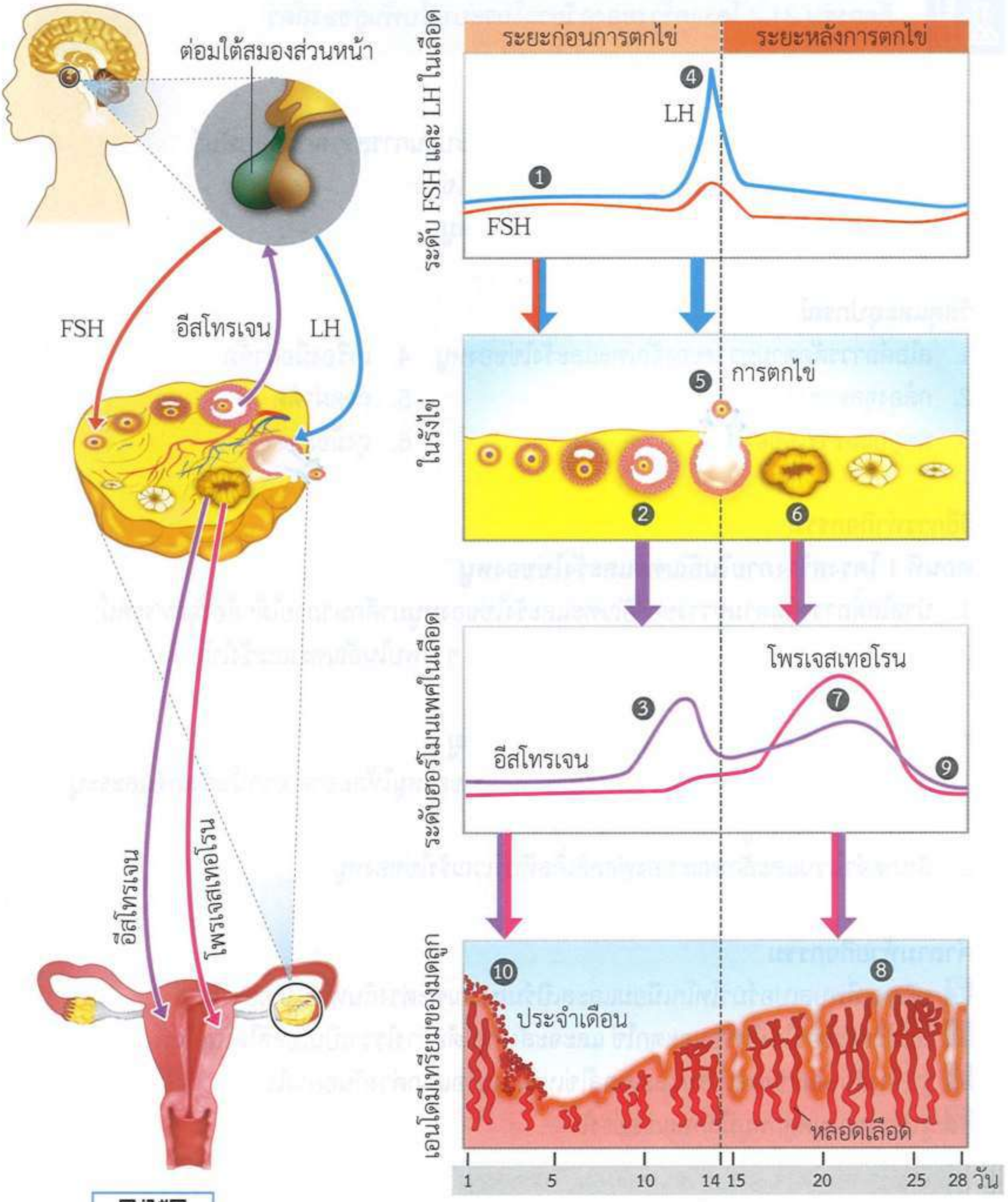
รู้หรือไม่

ชุดตรวจการตั้งครรภ์จากปัสสาวะด้วยตนเองจะตรวจ hCG ที่สร้างจากรก ถ้ามีการตั้งครรภ์จะปรากฏเป็น 2 แถบ บนชุดตรวจ แสดงว่าตรวจพบ hCG ซึ่งสามารถตรวจได้หลังจากการตั้งครรภ์ประมาณ 8-9 วันขึ้นไป โดยการตรวจมีความแม่นยำในระดับหนึ่ง และควรพบแพทย์เพื่อยืนยันผล

❶ เมื่อรังไข่ได้รับการกระตุ้นจาก FSH (follicle-stimulating hormone) และ LH (luteinizing hormone) จากต่อมใต้สมองส่วนหน้าจะทำให้มีการเจริญเพิ่มชั้นของฟอลลิเคิลที่ล้อมรอบโอโอไซต์ระยะแรก ❷ ในระยะก่อนการตกไข่ เซลล์ของฟอลลิเคิลที่ล้อมรอบโอโอไซต์ระยะแรกจะเจริญและสร้างฮอร์โมนอีสโทรเจน ❸ เมื่ออีสโทรเจนมีปริมาณสูงจะกระตุ้นให้มีการหลั่ง LH เพิ่มขึ้น ❹ ซึ่งการเพิ่มของระดับ LH อย่างรวดเร็วจะไปกระตุ้นให้เกิด ❺ การตกไข่

❻ ในระยะหลังการตกไข่ ฟอลลิเคิลจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นคอร์ปัสลูเทียม ❼ คอร์ปัสลูเทียมจะสร้างและหลั่งโพรเจสเทอโรนและอีสโทรเจน ❽ ซึ่งจะทำงานร่วมกันไปกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอนโดมีเทรียมให้แบ่งเซลล์และหนาขึ้น มีหลอดเลือดฝอยมากขึ้น เพื่อพร้อมรับการฝังตัวของเอ็มบริโอและให้ร่างกายพร้อมในการตั้งครรภ์ ในขณะเดียวกันโพรเจสเทอโรนไปส่งผลให้ลดการหลั่ง LH และ FSH เพื่อไม่ให้มีการเจริญของฟอลลิเคิลรอบใหม่

ถ้ามีการตั้งครรภ์ รกจะทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน hCG (human chorionic gonadotrophin) ไปกระตุ้นให้คอร์ปัสลูเทียมเจริญและสร้างโพรเจสเทอโรนและอีสโทรเจนต่อไป แต่ถ้าไม่มีการตั้งครรภ์ คอร์ปัสลูเทียมจะค่อย ๆ สลายไป ❾ ระดับของโพรเจสเทอโรนและอีสโทรเจนจะลดลง ❿ จากนั้นเอนโดมีเทรียมส่วนที่เจริญหนาขึ้นจะสลายและหลุดลอกและถูกขับออกจากมดลูกทางช่องคลอด เรียกว่า**ประจำเดือน** (menstruation) โดยการตกไข่และประจำเดือนเกิดขึ้นเป็นวงจร รอบละประมาณ 28 วัน ทั้งนี้ผู้หญิงแต่ละคนมีสภาพร่างกายที่แตกต่างกันรอบประจำเดือนจึงอาจมีจำนวนวันที่แตกต่างกัน



ipst.me/10800

รูป 21.13 การเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมน ฟอลลิเคิลในรังไข่ และเอนโดมีเทรียมของมดลูก

กิจกรรม 21.2 โครงสร้างของอวัยวะในระบบสืบพันธุ์ของสัตว์

จุดประสงค์

1. สังเกตและระบุชื่อของเซลล์ในระยะต่าง ๆ ในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์
2. เปรียบเทียบรูปร่างลักษณะของสเปิร์มและเซลล์ไข่
3. สังเกตและระบุโครงสร้างในมดลูกและรังไข่ของหมู

วัสดุและอุปกรณ์

1. สไลด์ถาวรตัดตามขวางของอัณฑะและรังไข่ของหนู
2. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
3. มดลูกและรังไข่ของหมู
4. เครื่องมือผ่าตัด
5. ถาดผ่าตัด
6. ถุงมือยาง

วิธีการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1 โครงสร้างภายในอัณฑะและรังไข่ของหนู

1. นำสไลด์ถาวรตัดตามขวางของอัณฑะและรังไข่ของหนูมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์
2. สังเกต บันทึกภาพ และระบุชื่อเซลล์ในระยะต่าง ๆ ที่พบในอัณฑะและรังไข่

ตอนที่ 2 โครงสร้างภายนอกมดลูกและรังไข่ของหมู

1. สวมถุงมือยางระหว่างการทำกิจกรรม ล้างมดลูกของหมูให้สะอาด จากนั้นสังเกตและระบุรังไข่ ท่อนำไข่ มดลูก และช่องคลอด
2. สังเกตจำนวนและลักษณะของฟอลลิเคิลที่บริเวณรังไข่ของหมู

คำถามท้ายกิจกรรม

? บริเวณที่พบสเปอร์มาโทโกเนียมและสเปิร์มในอัณฑะต่างกันหรือไม่ อย่างไร

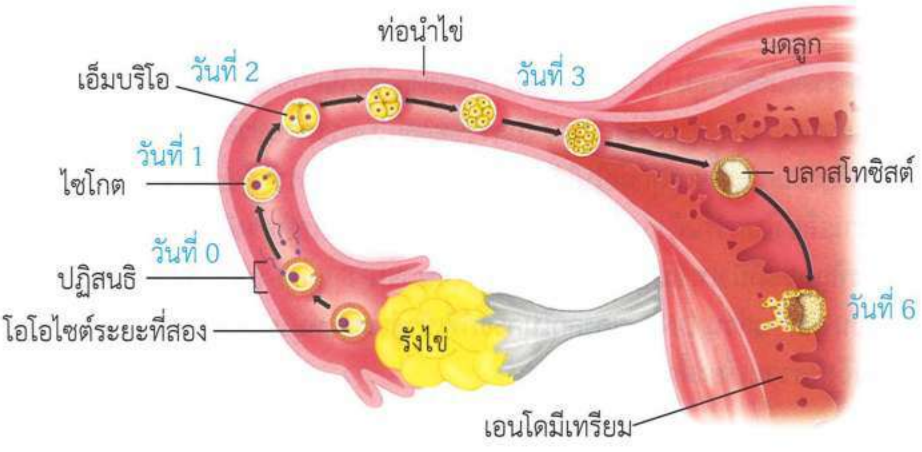
? โอโอไซต์ระยะใดที่พร้อมจะตกไข่ และจะสังเกตได้อย่างไรว่าเป็นเซลล์ใดในสไลด์

? รูปร่างลักษณะของสเปิร์มและเซลล์ไข่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? รูปร่างของมดลูกหมูมีลักษณะอย่างไร

21.2.3 การปฏิสนธิและการตั้งครรภ์

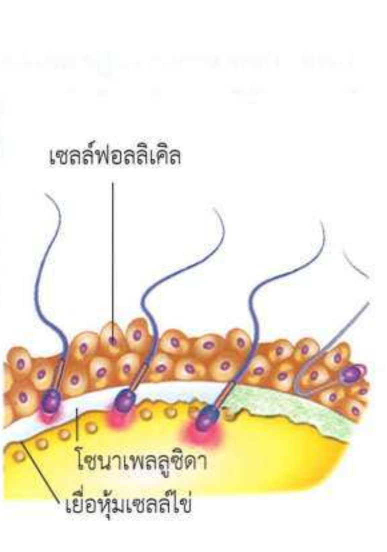
หลังจากที่โอโอไซต์ระยะที่สองหลุดออกจากฟอลลิเคิลจะเข้าสู่ท่อนำไข่ทางปลายเปิดซึ่งมีลักษณะคล้ายปากแตร โอโอไซต์ระยะที่สองเคลื่อนที่ไปตามท่อนำไข่โดยอาศัยการพัดโบกของซิเลียที่เซลล์เยื่อบุผิวของท่อนำไข่ เมื่อมีการผสมพันธุ์สเปิร์มจะเคลื่อนจากช่องคลอดไปยังมดลูก แล้วไปตามท่อนำไข่จนพบโอโอไซต์ระยะที่สอง เมื่อเกิดการปฏิสนธิระหว่างสเปิร์มและเซลล์ไข่จะได้เป็นไซโกตที่เป็นดิพลอยด์ จากนั้นไซโกตจะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเพิ่มจำนวนแล้วเจริญเป็นเอ็มบริโอ โดยเอ็มบริโอจะเคลื่อนไปฝังตัวที่เอนโดมีเทรียม ดังรูป 21.14 จากนั้นมีการเจริญเติบโตต่อไป



รูป 21.14 การปฏิสนธิและการเคลื่อนที่ของเอ็มบริโอไปฝังตัวที่ผนังมดลูก

ความรู้เพิ่มเติม

สเปิร์มเพียง 1 เซลล์เท่านั้นที่จะเข้าไปผสมกับเซลล์ไข่ 1 เซลล์ เมื่อสเปิร์มเคลื่อนที่ไปถึงเซลล์ไข่จะเคลื่อนผ่านชั้นของเซลล์ฟอลลิเคิลที่หลุดมากับเซลล์ไข่ แล้วปล่อยเอนไซม์จากอะโครโซมมาย่อยสารในชั้นโซนาเพลลูซิดา (zona pellucida) ที่หุ้มภายนอกเซลล์ไข่ เมื่อสเปิร์มเซลล์แรกเจาะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์จะปล่อยนิวเคลียสมาปฏิสนธิกับนิวเคลียสของเซลล์ไข่ ขณะเดียวกันมีการกระตุ้นให้เซลล์ไข่ปล่อยเอนไซม์ทำให้ชั้นโซนาเพลลูซิดาแข็งขึ้น ซึ่งจะกั้นไม่ให้สเปิร์มอื่นมาปฏิสนธิกับเซลล์ไข่ได้อีก



เทคโนโลยีกับการปฏิสนธิและการตั้งครรภ์

นอกจากการปฏิสนธิและการตั้งครรภ์ตามธรรมชาติแล้ว นักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาเทคโนโลยีเพื่อช่วยเหลือคู่สามีภรรยาที่ไม่สามารถมีบุตรได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากความผิดปกติของลักษณะและจำนวนของสเปิร์ม ความสมบูรณ์ของมดลูก เป็นต้น โดยวิธีการแก้ไขภาวะการมีบุตรยากมีหลายวิธี เช่น **การสร้างทารกในหลอดแก้ว** (in vitro fertilization; IVF) ซึ่งเป็นการนำเซลล์ไข่ที่เจริญเต็มที่มาผสมกับสเปิร์มเพื่อให้เกิดการปฏิสนธิภายนอกร่างกาย จากนั้นเลี้ยงเอ็มบริโอในภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม แล้วนำเอ็มบริโอเข้าสู่มดลูกเพื่อให้ฝังตัวและเจริญเติบโตต่อไป โดยอาจให้ฮอร์โมนกระตุ้นให้มีการตกไข่ครั้งละหลาย ๆ เซลล์ เพื่อเพิ่มโอกาสในการมีบุตร

ผู้หญิงที่ตั้งครรภ์เมื่อมีอายุมากกว่า 35 ปี มีความเสี่ยงสูงขึ้นที่ลูกจะมีมิวเทชันระดับโครโมโซม เช่น กลุ่มอาการดาวน์ การตรวจโรคทางพันธุกรรมดังกล่าวของลูกในครรภ์จะช่วยให้พ่อแม่สามารถตัดสินใจและเตรียมความพร้อมในการเลี้ยงดูลูกต่อไปได้ สามารถทำได้โดยการตรวจด้วยการเจาะน้ำคร่ำซึ่งมีความแม่นยำสูงแต่มีความเสี่ยงในการแท้ง ในปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอมาใช้ตรวจคัดกรองเพื่อหาความเสี่ยงที่ลูกจะมีมิวเทชันระดับโครโมโซม เช่น NIPT (non-invasive prenatal testing) ซึ่งตรวจหามิวเทชันจากชิ้นส่วน DNA ของลูกในครรภ์ที่เข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดของแม่ การตรวจใช้เพียงเลือดของแม่จึงมีความเสี่ยงต่ำ

รู้หรือไม่

เพราะเหตุใดแฝดบางคู่จึงหน้าตาไม่เหมือนกัน การเกิดแฝดมี 2 แบบ คือ แฝดร่วมไข่ (identical twin) ที่เกิดจากการปฏิสนธิระหว่างเซลล์ไข่ 1 เซลล์กับสเปิร์ม 1 เซลล์ ได้เป็นไซโกต 1 เซลล์ ในขณะที่มีการเจริญเติบโตอาจเกิดการแยกของกลุ่มเซลล์ออกเป็น 2 กลุ่ม แล้วเจริญเป็น 2 เอ็มบริโอ ได้เป็นแฝดร่วมไข่ที่มีพันธุกรรมเหมือนกัน มีรูปร่าง หน้าตา และเพศเหมือนกัน ในบางกรณีแฝดอาจมีบางส่วนของร่างกายติดกัน ดังกรณีแฝดสยามอิน-จัน ส่วนแฝดต่างไข่ (fraternal twin) เกิดจากการปฏิสนธิระหว่างเซลล์ไข่และสเปิร์มมากกว่า 1 ชุด ทำให้ได้ไซโกตมากกว่า 1 เซลล์ โดยแต่ละไซโกตจะเจริญเป็นเอ็มบริโอที่มีพันธุกรรมแตกต่างกัน จึงอาจมีรูปร่าง หน้าตา และเพศแตกต่างกันได้

กิจกรรมเสนอแนะ : เทคโนโลยีกับการปฏิสนธิและการตั้งครรภ์

จุดประสงค์

สืบค้นข้อมูลและอภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยีกับการปฏิสนธิและการตั้งครรภ์

วิธีการทำกิจกรรม

1. สืบค้นและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการปฏิสนธิและการตั้งครรภ์
2. ร่วมกันอภิปรายหลักการ ข้อดี ข้อจำกัด และชีวจริยธรรมที่ควรคำนึงถึง

21.3 การเจริญเติบโตของสัตว์

เมื่อสัตว์มีการสืบพันธุ์ ไซโกตที่เกิดขึ้นจากการปฏิสนธิจะมีการเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยที่สมบูรณ์สามารถสืบพันธุ์ให้ลูกหลานต่อไปได้ **ไซโกตมีกระบวนการในการเจริญเติบโตจนเป็นตัวเต็มวัยอย่างไร และสัตว์แต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร**

ใน**การเจริญ** (development) ของสัตว์ ไซโกตจะแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ ทำให้เอ็มบริโอประกอบด้วยเซลล์ที่คล้ายกันจำนวนมาก ซึ่งยังไม่มีการเจริญไปทำหน้าที่เฉพาะ จากนั้นเซลล์แต่ละกลุ่มจะมี**การเปลี่ยนสภาพ** (differentiation) เป็นเซลล์ที่มีลักษณะเฉพาะเพื่อทำหน้าที่เฉพาะ เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ เซลล์เม็ดเลือดขาว เซลล์ประสาท มีการเจริญของกลุ่มเซลล์จนเป็นเนื้อเยื่อ และมีการพัฒนาของอวัยวะต่าง ๆ จนเกิดเป็นรูปร่างและโครงสร้างที่แน่นอนในสัตว์แต่ละสปีชีส์ เรียกกระบวนการนี้ว่า**มอร์โฟเจเนซิส** (morphogenesis) โดยสัตว์จะมี**การเติบโต** (growth) ด้วยการขยายขนาดของเซลล์ซึ่งเกิดควบคู่ไปกับการเจริญ

ถึงแม้การเจริญเติบโตของสัตว์แต่ละชนิดมีรายละเอียดแตกต่างกันไป แต่ขั้นตอนและแบบแผนการเจริญเติบโตมีความคล้ายกัน ทั้งนี้การเจริญในระยะเอ็มบริโอที่มีแบบแผนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณและการกระจายตัวของไข่แดงภายในเซลล์ไข่ โดยอาจแบ่งออกเป็นกลุ่มที่มีไข่แดงน้อยและกระจายทั่วเซลล์ เช่น เม่นทะเลและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม กลุ่มที่มีไข่แดงปานกลาง เช่น สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก และกลุ่มที่มีไข่แดงมาก เช่น นกและสัตว์เลื้อยคลาน ในที่นี้จะกล่าวถึงการเจริญเติบโตของกบ ไก่ และมนุษย์ เพื่อเป็นตัวอย่างให้เห็นถึงแบบแผนของการเจริญเติบโต

21.3.1 การเจริญเติบโตของกบ

กบเป็นสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก มีการผสมพันธุ์ในน้ำ ปฏิสนธิภายนอก และวางไข่ในน้ำหรือที่ชื้น โดยเซลล์ไข่ของกบมีวุ้นห่อหุ้มอยู่โดยรอบ **มีไข่แดง** (yolk) ที่เป็นอาหารสะสมอยู่บริเวณด้านล่างมองเห็นเป็นสีเหลือง ส่วนด้านบนมีไข่แดงน้อยกว่าและมีสีเทาเข้มเนื่องจากมีสารสีอยู่หนาแน่นบริเวณใกล้ผิวเซลล์ เมื่อเซลล์ไข่ได้รับการปฏิสนธิเป็นไซโกตจะเริ่มมีการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ จากนั้นมีการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอซึ่งมีกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ คลีเวจ แกสทรูเลชัน และออร์แกโนเจเนซิส รายละเอียดการเจริญเติบโตดังรูป 21.15 จนได้เป็น**ตัวอ่อน** (larva) ที่ฟักออกจากไข่ เรียกว่า ลูกอ๊อด ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากตัวเต็มวัย ลูกอ๊อดจะมีการเจริญเติบโตระยะหลังเอ็มบริโอโดยเปลี่ยนแปลงรูปร่างจนกระทั่งมีลักษณะเหมือนกับตัวเต็มวัย เรียกกระบวนการนี้ว่า**เมทามอร์โฟซิส** (metamorphosis)

คลีเวจ (clevage)

เมื่อสิ้นสุดการปฏิสนธิ ไซโกตมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสอย่างรวดเร็ว ได้เอ็มบริโอที่มีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น โดยแต่ละเซลล์จะมีขนาดเล็กลง อัตราการแบ่งเซลล์ของด้านบนซึ่งมีไข่แดงน้อยจะเกิดเร็วกว่าด้านล่าง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการนี้จะได้เอ็มบริโอที่ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก จากนั้นเซลล์ของเอ็มบริโอมีการจัดเรียงตัวเป็นชั้นอยู่รอบนอก ส่วนตรงกลางเป็นช่องว่างที่มีของเหลวบรรจุอยู่ เรียกช่องนี้ว่า**บลาสโทซีล** (blastocoel) และเรียกเอ็มบริโอระยะนี้ว่า**บลาสทูลา** (blastula)

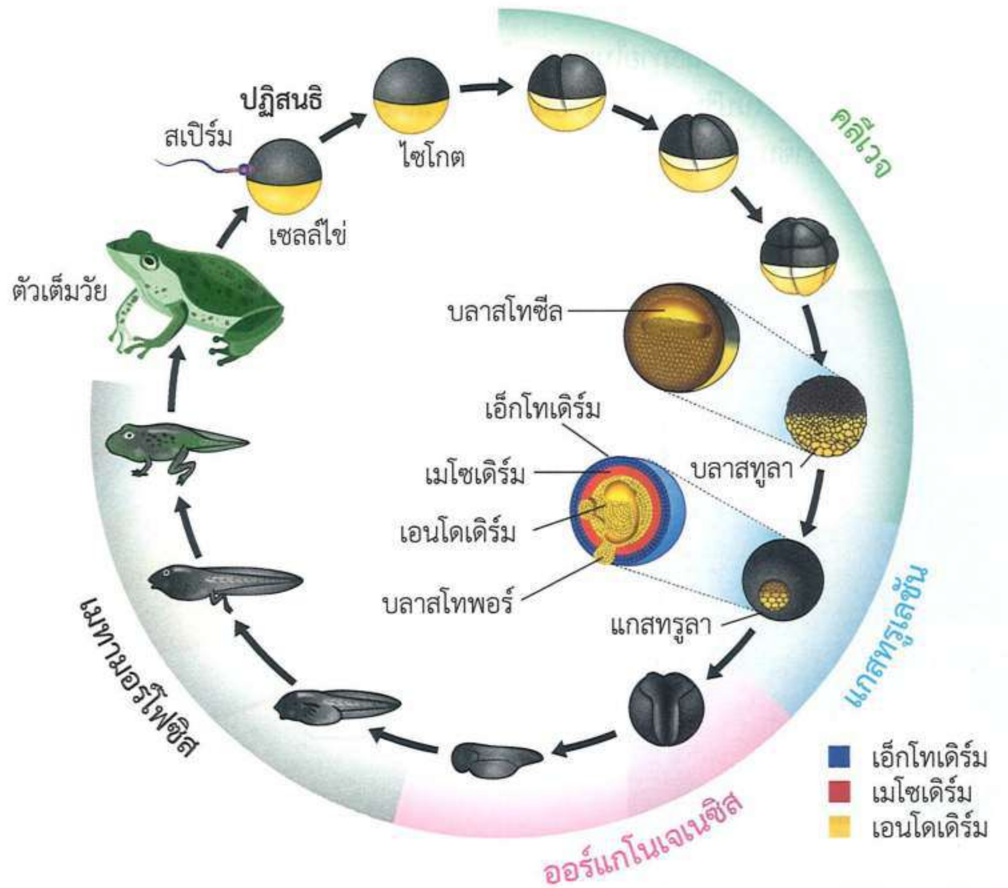
แกสทรูเลชัน (gastrulation)

เป็นกระบวนการที่เซลล์ของบลาสทูลามีการเคลื่อนที่และจัดเรียงตัวของกลุ่มเซลล์ของเอ็มบริโอเป็นชั้น (germ layer) จำนวน 3 ชั้น ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ชั้นนอก คือ **เอ็กโทเดิร์ม** (ectoderm) กลุ่มเซลล์ชั้นกลาง คือ **เมโซเดิร์ม** (mesoderm) และกลุ่มเซลล์ชั้นใน คือ **เอนโดเดิร์ม** (endoderm) เรียกเอ็มบริโอระยะนี้ว่า**แกสทรูลา** (gastrula) ซึ่งมีรูปร่างต่างไปจากเดิม มีการเคลื่อนที่ของเซลล์ในลักษณะต่าง ๆ เช่น กลุ่มเซลล์ชั้นนอกเคลื่อนมาคลุมทางด้านล่าง และมีการม้วนตัวเข้าไปในช่องภายในแล้วทำให้เกิดช่องว่างที่จะเจริญไปเป็นทางเดินอาหารต่อไป โดยมีช่องเปิดเรียกว่า**บลาสโทพอร์** (blastopore)

ออร์แกโนเจเนซิส (organogenesis)

เป็นกระบวนการที่กลุ่มเซลล์ของเอ็มบริโอทั้ง 3 ชั้นมีการพัฒนาไปเป็นอวัยวะต่าง ๆ อย่างเฉพาะในระบบต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น เอ็กโทเดิร์มเจริญเป็นสมองและไขสันหลัง เมโซเดิร์มเจริญเป็นกล้ามเนื้อและโนโทคอร์ด (notochord) และเอนโดเดิร์มเจริญเป็นเยื่อบุของอวัยวะในทางเดินอาหาร โดยหนึ่งอวัยวะอาจประกอบด้วยการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อมากกว่าหนึ่งชั้น

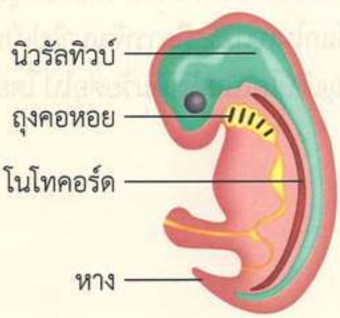
? ในออร์แกโนเจเนซิสมีการสร้างนิวรัลทิวบ์โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของไมโครฟิลาเมนท์ ถ้าให้สารที่ยับยั้งการทำงานของไมโครฟิลาเมนท์จะส่งผลอย่างไร



รูป 21.15 การเจริญเติบโตของกบ

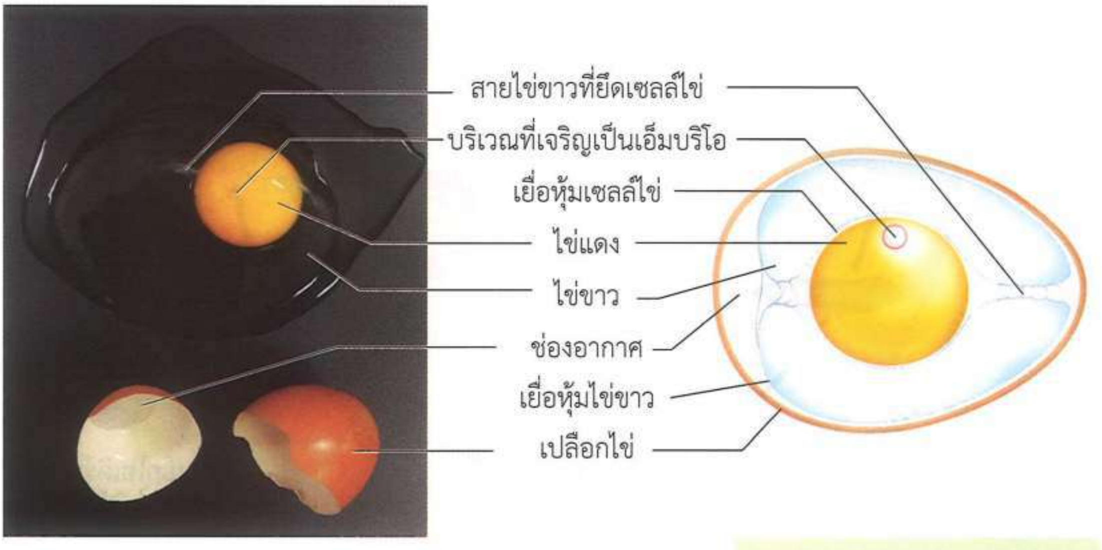
รู้หรือไม่

ออร์แกโนเจเนซิสของสัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดจะมีการเจริญของระบบประสาทก่อน โดยในเอ็มบริโอของสัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดจะพบโนโทคอร์ดซึ่งเจริญมาจากเมโซเดิร์ม โนโทคอร์ดเป็นโครงสร้างที่เป็นแกนค้ำจุนร่างกาย มีลักษณะเป็นแท่งทอดยาวไปตามลำตัวระหว่างนิวรัลทิวบ์และเหนือทางเดินอาหาร ในสัตว์มีกระดูกสันหลังส่วนใหญ่เมื่อโตเต็มวัยโนโทคอร์ดจะถูกแทนที่ด้วยกระดูกสันหลังและกระดูกอ่อน



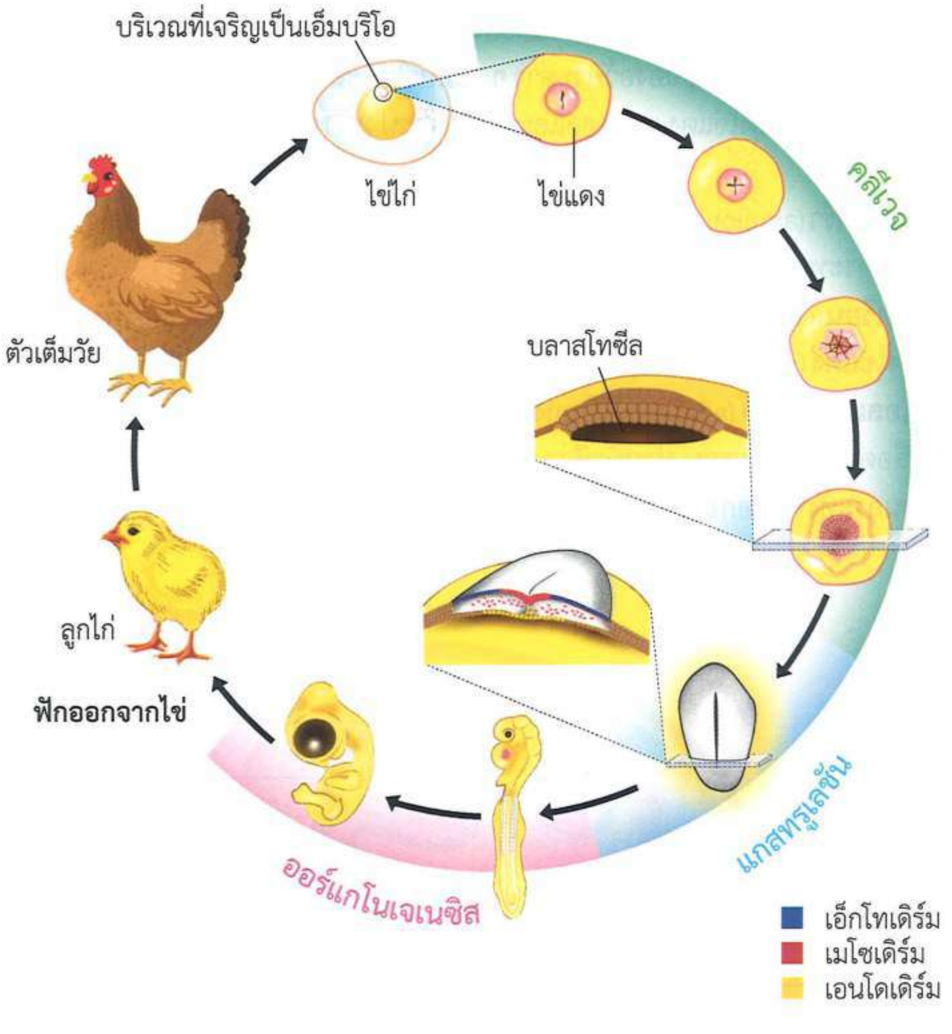
21.3.2 การเจริญเติบโตของไก่

ไก่เป็นสัตว์ที่มีการปฏิสนธิภายในและวางไข่บนบก เซลล์ไข่ของไก่เป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่และมีไข่แดงที่เป็นอาหารสะสมในปริมาณมาก โดยมีเพียงบริเวณเล็ก ๆ ใกล้ผิวเซลล์ด้านบนของเซลล์ไข่ที่มีนิวเคลียสและไซโทพลาซึม ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการปฏิสนธิกับสเปิร์มและจะเจริญเป็นเอ็มบริโอต่อไป ดังรูป 21.16



รูป 21.16 โครงสร้างของไข่ไก่

เอ็มบริโอของไก่มีกระบวนการเจริญเติบโตคล้ายกบ ดังรูป 21.17 ในคลีเวจบริเวณที่จะเจริญเป็นเอ็มบริโอจะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อเพิ่มจำนวน จากนั้นเซลล์ของเอ็มบริโอมีการจัดเรียงตัวเกิดเป็นช่องบลาสโทซีล ในแกสทรูเลชันมีการจัดเรียงตัวของกลุ่มเซลล์ของเอ็มบริโอเป็น 3 ชั้น และในออร์แกโนเจเนซิสมีการพัฒนาไปเป็นอวัยวะต่าง ๆ เมื่อเอ็มบริโอเจริญเติบโตเต็มที่จะฟักออกจากไข่ แล้วเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยต่อไป โดยไม่มีเมทามอร์โฟซิส



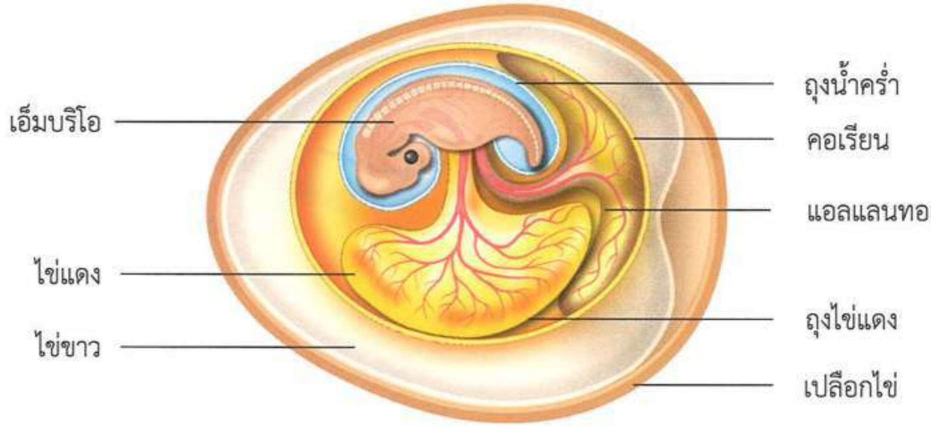
รูป 21.17 การเจริญเติบโตของเอ็มบริโอไก่

? กระบวนการเจริญเติบโตในระยะเอ็มบริโอของไก่เหมือนหรือแตกต่างจากเอ็มบริโอของกบอย่างไร

? การเจริญเติบโตของสัตว์ที่มีเมทามอร์โฟซิสแตกต่างจากสัตว์ที่ไม่มีเมทามอร์โฟซิสอย่างไร

สัตว์มีกระดูกสันหลังที่อาศัยบนบก เช่น สัตว์ปีก สัตว์เลื้อยคลาน และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม สัตว์เหล่านี้มีการปรับตัวให้เอ็มบริโอมีโครงสร้างแตกต่างจากเอ็มบริโอของสัตว์ที่เจริญในน้ำเพื่อให้สามารถเจริญบนบกได้ โดยเอ็มบริโอของไก่มีเปลือกไข่หุ้มภายนอกเพื่อป้องกันอันตรายและป้องกันการสูญเสียน้ำ ในระยะที่มีการเจริญของอวัยวะต่าง ๆ เอ็มบริโอจะสร้างโครงสร้างที่อยู่นอกตัวเอ็มบริโอ ได้แก่ ถุงน้ำคร่ำ คอเรียน ถุงไข่แดง และแอลแลนทอยส์ ดังรูป 21.18

- **ถุงน้ำคร่ำ** (amnion) เป็นถุงชั้นในที่ห่อหุ้มเอ็มบริโอมีของเหลวบรรจุอยู่เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือนและป้องกันไม่ให้เอ็มบริโอแห้ง
- **คอเรียน** (chorion) เป็นถุงชั้นนอกที่ห่อหุ้มเอ็มบริโออยู่ใกล้เปลือกไข่ ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊ส
- **ถุงไข่แดง** (yolk sac) เป็นถุงสะสมไข่แดง เพื่อเป็นอาหารสำหรับเอ็มบริโอในการเจริญเติบโต
- **แอลแลนทอยส์** (allantois) เป็นถุงสร้างจากเอ็มบริโอจะแทรกไปชิดกับเปลือกไข่ มีหลอดเลือดฝอยอยู่โดยรอบ ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊สและเก็บของเสียประเภทกรดยูริกสะสมไว้จนกระทั่งฟักออกจากไข่

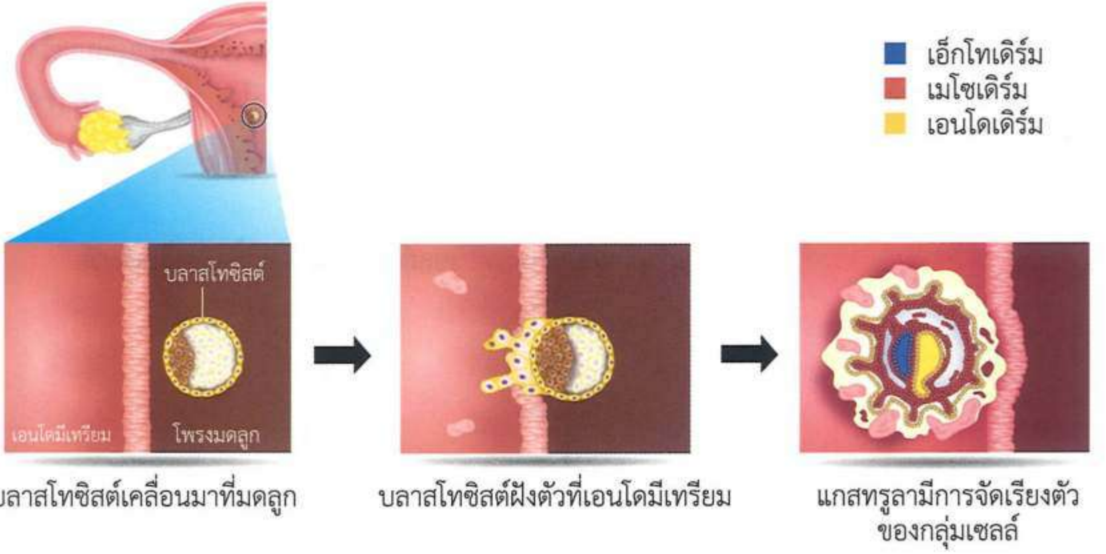


รูป 21.18 โครงสร้างที่อยู่นอกตัวเอ็มบริโอไก่

? เอ็มบริโอของไก่มีโครงสร้างอะไรที่ทำให้สามารถอยู่รอดบนบกได้

21.3.3 การเจริญเติบโตของมนุษย์

มนุษย์มีการปฏิสนธิภายในโดยเอ็มบริโอจะเจริญภายในมดลูกและคลอดออกมาเป็นทารก ซึ่งภายหลังจากการปฏิสนธิประมาณ 18-36 ชั่วโมง ไซโกตที่ท่อนำไข่ส่วนต้นจะเข้าสู่กระบวนการคลีเวจ โดยมีการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ จากนั้นมีการจัดเรียงตัวของเซลล์เป็นช่องและเจริญเป็น**บลาสโทซิสต์** (blastocyst) และจะเคลื่อนมาฝังตัวที่เอนโดมีเทรียม เมื่อเอ็มบริโออายุประมาณ 2 สัปดาห์ จะเกิดแกสทรูเลชันโดยมีการจัดเรียงตัวของกลุ่มเซลล์เป็น 3 ชั้น ดังรูป 21.19



รูป 21.19 การเจริญเติบโตของเอ็มบริโอมนุษย์

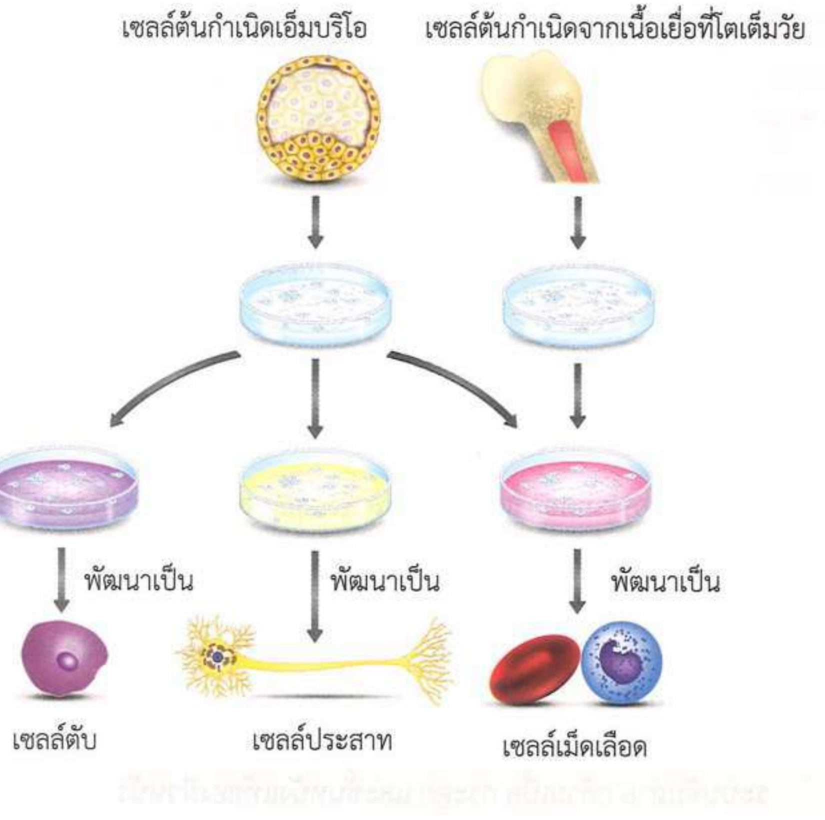
จากนั้นเอ็มบริโอจะเกิดออร์แกโนเจเนซิส ซึ่งกลุ่มเซลล์ของเอ็มบริโอชั้นเอ็กโทเดิร์ม เมโซเดิร์ม และเอนโดเดิร์มจะพัฒนาเป็นอวัยวะต่าง ๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- เอ็กโทเดิร์ม จะเจริญเป็นเยื่อบุผิว ระบบประสาท ต่อมบางชนิด เลนส์ตา สารเคลือบฟัน และเนื้อฟัน
- เมโซเดิร์ม จะเจริญเป็นโนโทคอร์ด ระบบหมุนเวียนเลือด ระบบน้ำเหลือง ระบบสืบพันธุ์ ระบบขับถ่าย กล้ามเนื้อ กระดูก และชั้นหนังแท้ของผิวหนัง
- เอนโดเดิร์ม จะเจริญเป็นเยื่อบุทางเดินอาหาร เยื่อบุทางเดินหายใจ ตับ และตับอ่อน

ความรู้เพิ่มเติม

บลาสโทซิสต์ประกอบด้วยเซลล์ต้นกำเนิดเอ็มบริโอ (embryonic stem cell) เป็นเซลล์ที่มีความสามารถในการเจริญเติบโต เพิ่มจำนวน และเปลี่ยนสภาพไปเป็นเซลล์หรือเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกายได้ ทั้งนี้ในบางอวัยวะที่มีการพัฒนาแล้วยังคงมีการสร้างเซลล์ต้นกำเนิดจากเนื้อเยื่อที่โตเต็มวัย (adult stem cell) ซึ่งสามารถเปลี่ยนสภาพไปเป็นเซลล์เฉพาะในเนื้อเยื่อนั้น ๆ เมื่อได้รับสารกระตุ้นที่เหมาะสม

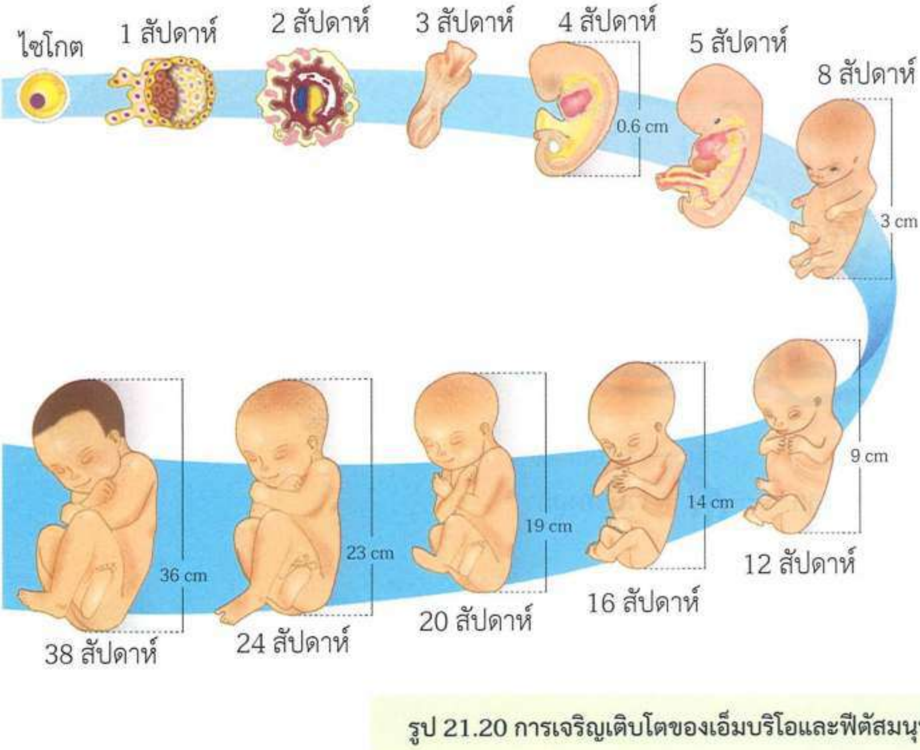
ในปัจจุบันมีการนำเซลล์ต้นกำเนิดจากไขกระดูกมาใช้รักษาโรคโลหิตจางธาลัสซีเมียและมะเร็งเซลล์เม็ดเลือดขาว เป็นต้น ทั้งนี้การวิจัยเพื่อนำเซลล์ต้นกำเนิดจากเอ็มบริโอมารักษาโรคต่าง ๆ ยังคงเป็นที่ถกเถียงในด้านจริยธรรม เนื่องจากเป็นการทำลายเอ็มบริโอ



การเกิดออร์แกโนเจเนซิส ในสัปดาห์ที่ 3 เริ่มจากการพัฒนาของระบบประสาท และเมื่ออายุได้ 4 สัปดาห์ เอ็มบริโอเริ่มมีอวัยวะต่าง ๆ เจริญมากขึ้น หัวใจมีลักษณะเป็นท่อและเริ่มเต้นเป็นจังหวะ แขนและขาเริ่มปรากฏชัดเจน ดังรูป 21.20 เมื่อเอ็มบริโออายุได้ 8 สัปดาห์ จะเจริญเติบโตและมีอวัยวะต่าง ๆ ครบ โดยจะสิ้นสุดระยะเอ็มบริโอ และหลังจากระยะนี้จะเรียกว่า **ฟีตัส** (fetus)

เมื่ออายุครรภ์ครบ 3 เดือน (โดยอายุครรภ์นับจากวันแรกของการมีประจำเดือนครั้งสุดท้าย) ฟีตัสจะมีใบหน้า นิ้วมือ และนิ้วเท้าเจริญเห็นได้ชัดเจน มีอวัยวะสืบพันธุ์ที่เห็นได้ชัดเจนขึ้นสามารถบอกเพศได้ และในช่วงที่ตั้งครรภ์เดือนที่ 4-6 ฟีตัสมีขนาดโตขึ้นเรื่อย ๆ และมีการเคลื่อนไหวมากขึ้น มีกระดูก ผม และขน เริ่มได้ยินเสียงการเต้นของหัวใจจากหูฟังสเตตโตสโคป ในช่วง 3 เดือนสุดท้าย ฟีตัสจะมีขนาดโตมากขึ้น มีการเจริญของอวัยวะต่าง ๆ และมีระบบประสาทเจริญมาก

เมื่ออายุครรภ์ของแม่ประมาณ 40 สัปดาห์ หรือประมาณ 9 เดือน จะถึงเวลาครบกำหนดคลอด โดยปกติส่วนหัวของทารกจะออกมาก่อน หลังจากคลอดออกมาทารกจะเริ่มหายใจและส่งเสียงร้อง ทารกที่คลอดจะมีความยาวประมาณ 50 เซนติเมตร ซึ่งวัดความยาวจากศีรษะถึงเท้า และมีน้ำหนักประมาณ 3-4 กิโลกรัม

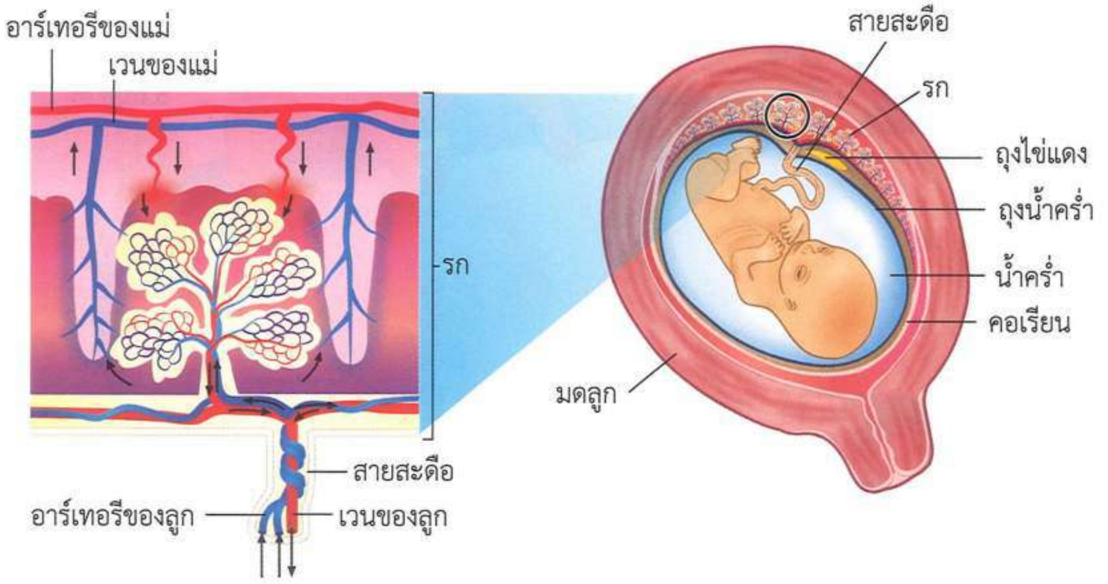


รูป 21.20 การเจริญเติบโตของเอ็มบริโอและฟีตัสมนุษย์

ตรวจสอบความเข้าใจ

? จงเขียนขั้นตอนการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอมนุษย์ตั้งแต่เป็นไซโกตจนถึงกำหนดคลอด

เซลล์ไข่ของมนุษย์มีไข่แดงปริมาณน้อย ดังนั้นในการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอและฟีตัสในครรภ์ต้องได้รับสารอาหารจากแม่ผ่านทาง**รก** (placenta) และ**สายสะดือ** (umbilical cord) ในช่วงที่มีการฝังตัวของบลาสโทซิสต์ที่ผนังมดลูก เอ็มบริโอจะสร้างคอเรียนล้อมรอบเอ็มบริโอ และมีบางส่วนยื่นเป็นแขนงเล็ก ๆ แทรกในชั้นเอนโดมีเทรียมของมดลูก ซึ่งต่อมาจะพัฒนาเป็นรกทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนสารระหว่างแม่กับลูก รกจะลำเลียงสารอาหาร เช่น น้ำตาล กรดแอมิโน และธาตุอาหาร ลำเลียงแอนติบอดี แลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และกำจัดของเสีย เช่น ยูเรีย นอกจากนี้เอ็มบริโอมีการสร้างถุงหุ้มตัวเอง ภายในถุงบรรจุของเหลวที่เรียกว่า**น้ำคร่ำ** (amniotic fluid) เพื่อป้องกันการกระทบกระเทือนและช่วยให้เอ็มบริโอเคลื่อนไหวได้ ดังรูป 21.21



รูป 21.21 โครงสร้างของรก

- ? ปริมาณของไข่แดงมีส่วนเกี่ยวข้องกับแบบแผนการเจริญเติบโตของสัตว์แต่ละชนิดหรือไม่ อย่างไร
- ? เอ็มบริโอมนุษย์ได้รับสารอาหาร แก๊สออกซิเจน หรือขับถ่ายของเสียด้วยวิธีการที่ต่างจากเอ็มบริโอไก่อย่างไร
- ? ระบบหมุนเวียนเลือดของลูกไม่เชื่อมต่อกับระบบหมุนเวียนเลือดของแม่ การลำเลียงสารต่าง ๆ ระหว่างแม่และลูกเกิดขึ้นได้อย่างไร
- ? หญิงมีครรภ์คนหนึ่งที่มีรอบประจำเดือนปกติแจ้งกับแพทย์ว่าวันแรกของการมีประจำเดือนครั้งสุดท้ายผ่านมาแล้ว 50 วัน อยากทราบว่าลูกที่อยู่ในครรภ์ของหญิงคนนี้มีอายุประมาณเท่าใด

นอกจากทารกจะได้รับสารอาหารต่าง ๆ จากแม่ผ่านทางรกแล้ว ยังมีโอกาสได้รับยาหรือสารเคมีบางชนิดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกในครรภ์ด้วย ซึ่งอาจทำให้พิการหรือเสียชีวิตได้ โดยเฉพาะเมื่อแม่ได้รับสารเหล่านั้นในช่วง 3 เดือนแรกของการตั้งครรภ์ เช่น สุราอาจทำให้เกิดการแท้งและเกิดความพิการของสมอง แขน ขา หัวใจ เป็นต้น ควันบุหรี่ทำให้มีการเจริญเติบโตช้า ยารักษาสิวในกลุ่มวิตามิน A สังเคราะห์ชนิดรับประทาน (isotretinoin) ทำให้เกิดความพิการของสมอง ตา หัวใจ เป็นต้น ดังนั้นสุขภาพของแม่จึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกในครรภ์ แม่ต้องบริโภคอาหารให้ครบถ้วนและเพียงพอต่อความต้องการ โดยเฉพาะอาหารประเภทโปรตีน รวมทั้งธาตุอาหาร วิตามินต่าง ๆ หญิงมีครรภ์ที่บริโภคอาหารไม่ครบถ้วนหรือมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพของแม่และลูกระหว่างตั้งครรภ์ อาจส่งผลต่อความสมบูรณ์ สุขภาพ หรือสติปัญญาของลูกที่เกิดมาได้

จากที่ได้ศึกษามา จะเห็นว่าสัตว์ต่าง ๆ มีการเจริญเติบโตตั้งแต่อยู่ในไข่หรือในครรภ์ โดยมีการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์ รวมทั้งพัฒนาเป็นอวัยวะต่าง ๆ เมื่อสัตว์เหล่านี้เกิดมาเป็นตัวอ่อนก็ยังคงมีการเจริญเติบโตของร่างกายและอวัยวะเพื่อให้เป็นตัวเต็มวัยที่สมบูรณ์ต่อไป **สัตว์มีการเจริญเติบโตตลอดอายุขัยหรือไม่ อย่างไร และจะวัดการเจริญเติบโตได้อย่างไร**

การวัดการเติบโตของสัตว์มีหลายวิธี วิธีที่นิยมมากคือการหามวลของสัตว์ที่เปลี่ยนไปและการวัดความสูง แต่บางกรณีความสูงอาจไม่ได้เพิ่มในอัตราส่วนเช่นเดียวกับมวล ดังนั้นการวัดความสูงจึงเป็นเพียงการคาดคะเนการเติบโต ซึ่งสามารถศึกษาแบบแผนการเติบโตของสัตว์จากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 21.3 อัตราการเติบโตของสัตว์

จุดประสงค์

1. อธิบายและวิเคราะห์ข้อมูลแสดงอัตราการเติบโตของมนุษย์
2. เปรียบเทียบแบบแผนการเติบโตของสัตว์

วิธีการทำกิจกรรม

สร้างกราฟแสดงอัตราการเติบโตของมนุษย์จากข้อมูลในตารางที่กำหนดให้ และตอบคำถามท้ายกิจกรรม

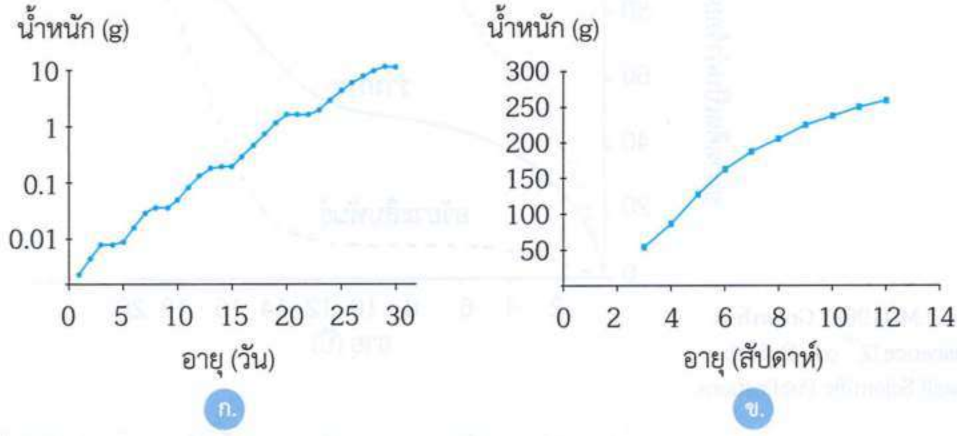
อายุ (ปี)	ความสูง (cm)
แรกเกิด	49.29
1	74.40
2	84.98
3	94.21
4	101.03
5	107.96
6	115.01
7	121.76
8	127.83
9	133.13
10	138.21

อายุ (ปี)	ความสูง (cm)
11	144.26
12	151.49
13	157.34
14	160.48
15	161.90
16	162.57
17	162.92
18	163.13
19	163.26
20	163.34

ที่มา: Centers for Disease Control and Prevention. (2000, 30 May). **Clinical Growth Charts.** Retrieved 25 August 2019, from https://www.cdc.gov/growthcharts/clinical_charts.htm

คำถามท้ายกิจกรรม

- ? ช่วงอายุเท่าไรที่กราฟมีความชันมาก อัตราการเติบโตในช่วงนี้เป็นอย่างไร
- ? เส้นกราฟในระยะหลังจากอายุ 20 ปี ไปแล้ว มีแนวโน้มเป็นอย่างไร และมนุษย์ยังมีการเติบโตอยู่หรือไม่
- ? ยกตัวอย่างสัตว์ที่มีแบบแผนการเติบโตที่คล้ายกับข้อมูลที่กำหนดให้
- ? จากกราฟ แบบแผนการเติบโตของแมลงที่มีเมทามอร์โฟซิส (ก.) มีความแตกต่างจากแบบแผนการเติบโตของหนู (ข.) อย่างไร

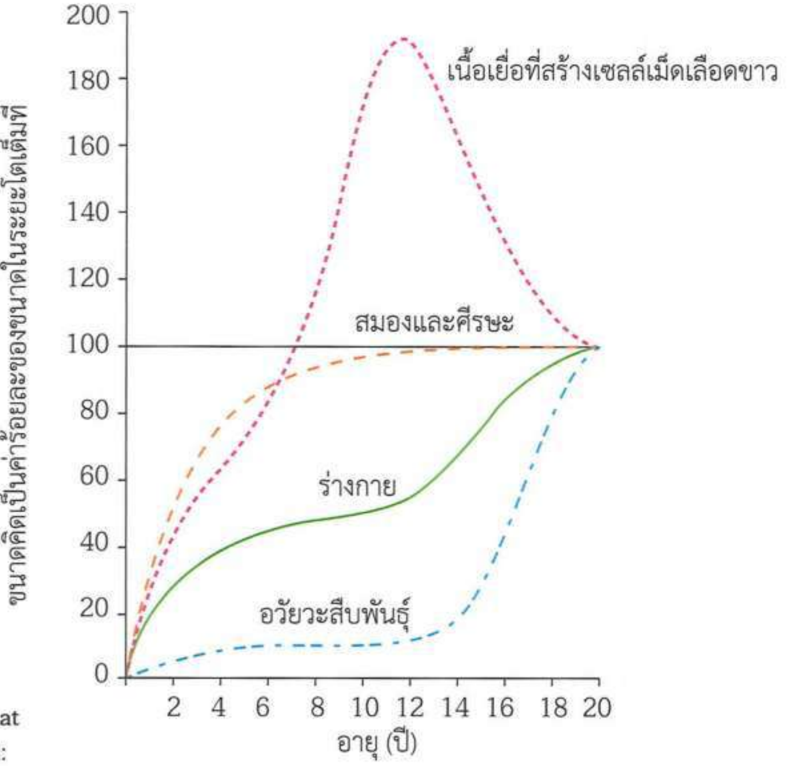


ที่มา: ดัดแปลงจาก

1. Grunert L. W., Clarke J.W., Ahuja C., Eswaran H., & Nijhout HF. (2015). A Quantitative Analysis of Growth and Size Regulation in Manduca sexta: The Physiological Basis of Variation in Size and Age at Metamorphosis. **PLOS ONE**, 10 (5), e0127988.
2. ศูนย์สัตว์ทดลองแห่งชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2562). **สัตว์ทดลอง**. สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2562, จาก https://nlac.mahidol.ac.th/acth/index.php/animals-bioproduct/animals

จากกิจกรรมจะเห็นว่าเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้นจะมีการเติบโตมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระยะหนึ่งจะชะลอการเติบโต หลังจากระยะนั้นผ่านไปเส้นกราฟจะไม่สูงขึ้นอีก การเติบโตในลักษณะเช่นนี้เป็นแบบแผนของการเติบโตของสัตว์ทั่วไป

อวัยวะต่าง ๆ ก็มีการเติบโตในอัตราที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงวัย เมื่อพิจารณาการเพิ่มขนาดของอวัยวะและเนื้อเยื่อในมนุษย์เทียบกับขนาดของอวัยวะและเนื้อเยื่อนั้น ๆ เมื่อโตเต็มที่แล้ว จะเห็นว่าแต่ละอวัยวะมีการเติบโตเร็วช้าต่างกัน ดังรูป 21.22



ที่มา: Tanner, J.M. (1962). **Growth at Adolescence** (2nd ed). Oxford: Blackwell Scientific Publications.

รูป 21.22 การเพิ่มขนาดของอวัยวะและเนื้อเยื่อบางส่วนของมนุษย์

? ในช่วงอายุ 12-18 ปี เนื้อเยื่อที่สร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวมีการเติบโตเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

? อวัยวะสืบพันธุ์ของมนุษย์มีการเติบโตอย่างรวดเร็วเมื่ออายุประมาณเท่าใด และช่วงอายุนั้นร่างกายมีอัตราการเพิ่มขนาดเป็นอย่างไร

? ระยะใดที่สมองมีอัตราการเติบโตสูงสุด

ในการเจริญเติบโตของสัตว์จากวัยอ่อนจนเป็นตัวเต็มวัย สัตว์ต้องอาศัยในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและมีปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต ปัจจัยที่มีความสำคัญมากคืออาหารและการป้องกันอันตรายให้ลูกวัยอ่อน ดังนั้นสัตว์หลายชนิดเมื่อลูกเกิดมาแล้ว พ่อแม่จะมีพฤติกรรมต่าง ๆ เช่น เฝ้าระวังลูกด้วยวิธีการต่าง ๆ หาอาหารมาให้ลูก ดังรูป 21.23 เพื่อดูแลให้ลูกอยู่รอดและสืบทอดเผ่าพันธุ์ต่อไปได้



รูป 21.23 การดูแลลูกของนกเพนกวิน

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศของสัตว์เป็นการสืบพันธุ์ที่ไม่มีการรวมของเซลล์สืบพันธุ์

2. การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของสัตว์เป็นการสืบพันธุ์ที่มีการรวมนิวเคลียสของเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งมีทั้งการปฏิสนธิภายนอกและการปฏิสนธิภายใน สัตว์บางชนิดมี 2 เพศในตัวเดียวกัน แต่การผสมพันธุ์ส่วนใหญ่จะผสมข้ามตัว

3. การสืบพันธุ์ของมนุษย์มีกระบวนการสร้างสเปิร์มจากสเปอร์มาโทโกเนียมภายในอัณฑะ และกระบวนการสร้างเซลล์ไข่จากโอโอโกเนียมภายในรังไข่

4. อวัยวะสืบพันธุ์ของเพศชายประกอบด้วยอัณฑะทำหน้าที่สร้างสเปิร์มและฮอร์โมนเพศชาย และมีโครงสร้างอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่ลำเลียงสเปิร์ม สร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ สร้างสารที่เป็นเบส และสารหล่อลื่นท่อปัสสาวะ

5. กระบวนการสร้างสเปิร์มเริ่มต้นจากสเปอร์มาโทโกเนียมแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสได้เป็นสเปอร์มาโทโกเนียมจำนวนมาก แล้วแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเป็นสเปอร์มาโทไซต์ระยะแรก โดยสเปอร์มาโทไซต์ระยะแรกจะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I ได้สเปอร์มาโทไซต์ระยะที่สอง ซึ่งจะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส II ได้สเปอร์มาทิดตามลำดับ จากนั้นเปลี่ยนสภาพเป็นสเปิร์ม

6. อวัยวะสืบพันธุ์ของเพศหญิงประกอบด้วยรังไข่ ทำหน้าที่สร้างเซลล์ไข่และฮอร์โมนเพศหญิง และมีโครงสร้างอื่นได้แก่ ท่อนำไข่ มดลูก และช่องคลอด

7. กระบวนการสร้างเซลล์ไข่เริ่มจากโอโอโกเนียมแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส I และจะหยุดอยู่ที่ระยะโพรเฟส I ได้เป็นโอโอไซต์ระยะแรก เมื่อเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์จึงแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I ต่อ ตามด้วยไมโอซิส II และหยุดที่ระยะเมทาเฟส II ได้เป็นโอโอไซต์ระยะที่สองซึ่งจะเกิดการตกไข่ เมื่อได้รับการกระตุ้นจากสเปิร์ม โอโอไซต์ระยะที่สองจะแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส II ต่อ จนเสร็จแล้วพัฒนาเป็นเซลล์ไข่

8. การปฏิสนธิระหว่างสเปิร์มและเซลล์ไข่จะได้เป็นไซโกต ซึ่งเกิดขึ้นภายในท่อนำไข่ และไซโกตเจริญเป็นเอ็มบริโอและไปฝังตัวที่ผนังมดลูกจนกระทั่งครบกำหนดคลอด

9. การเจริญเติบโตของสัตว์ เช่น กบ ไก่ และมนุษย์ จะเริ่มต้นด้วยการแบ่งเซลล์ของไซโกต การเกิดเอ็กโทเดิร์ม เมโซเดิร์ม และเอนโดเดิร์ม การเกิดอวัยวะ โดยมีการเพิ่มจำนวน ขยายขนาด และการเปลี่ยนสภาพของเซลล์ พัฒนาการของอวัยวะต่าง ๆ จะทำให้มีรูปร่างและโครงสร้างที่แน่นอนในสัตว์แต่ละสปีชีส์
10. การเจริญเติบโตของมนุษย์จะมีขั้นตอนคล้ายกับการเจริญเติบโตของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมอื่นๆ โดยเอ็มบริโอจะฝังตัวที่ผนังมดลูก และมีการแลกเปลี่ยนสารระหว่างแม่กับลูกผ่านทางรก

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 21

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

การสืบพันธุ์ของสัตว์

.... 1.1 สัตว์ตัวใหม่ที่เกิดจากการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศมีลักษณะรูปร่างและข้อมูลทางพันธุกรรมเหมือนกับสัตว์ตัวเดิมทุกประการ

....

.... 1.2 การแตกหน่อและการงอกใหม่เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยสัตว์มีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์

....

.... 1.3 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเกิดจากการปฏิสนธิระหว่างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย โดยสามารถเกิดได้ทั้งภายนอกและภายในร่างกายของสัตว์เพศเมีย

....

.... 1.4 ไส้เดือนดินเป็นกะเทย เซลล์ไข่และสเปิร์มของไส้เดือนดินที่สร้างจากตัวเดียวกันสามารถปฏิสนธิกันเองได้

....

.... 1.5 ในกระบวนการสร้างสเปิร์ม สเปอร์มาโทไซต์ระยะแรกจะมีโครโมโซมเป็นแฮพลอยด์

....

.... 1.6 การเจาะของสเปิร์มที่ผิวเซลล์โอโอไซต์ระยะที่สองภายในท่อนำไข่กระตุ้นทำให้เกิดการแบ่งเซลล์ต่อได้เป็นเซลล์ไข่

....

.... 1.7 ในเพศหญิงมีการสร้างโอโอโกเนียมจำนวนมากตั้งแต่เกิดและไม่มีการสร้างเพิ่มเติมอีก

....

.... 1.8 คอร์ปัสลูเทียมในรังไข่ของเพศหญิงเป็นเนื้อเยื่อที่เปลี่ยนแปลงมาจากฟอลลิเคิลที่เจริญเติบโตเต็มที่หลังโอโอไซต์ระยะที่สองหลุดออกไปแล้ว

....

.... 1.9 ในเพศหญิง ถ้าเซลล์ไข่ไม่ได้รับการปฏิสนธิจะมีประจำเดือนซึ่งเกิดจากการสลายของเยื่อบุของท่อนำไข่

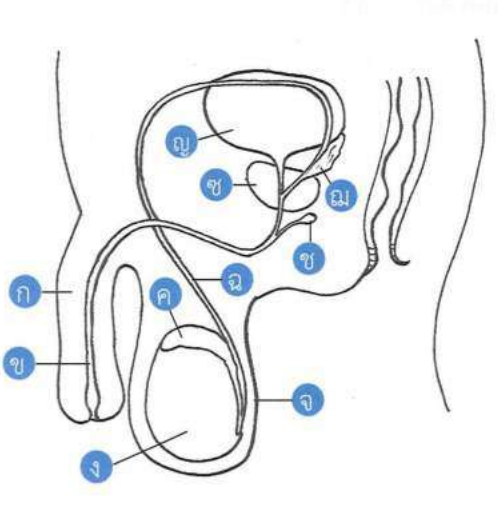
....

.... 1.10 การที่สเปิร์มเจาะเข้าไปในโอโอไซต์ระยะที่สองจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อป้องกันการเจาะเข้าไปของสเปิร์มอื่น

....

2. จงนำตัวอักษรจากรูประบบสืบพันธุ์ของเพศชายและเพศหญิงเติมลงในช่องว่างหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน พร้อมระบุชื่อโครงสร้าง (ภาษาอังกฤษ) ลงในช่องว่างหน้าข้อความ (สามารถตอบซ้ำได้)

2.1 เพศชาย



.... 1. ทำหน้าที่สร้างสเปิร์มและฮอร์โมนเพศชาย

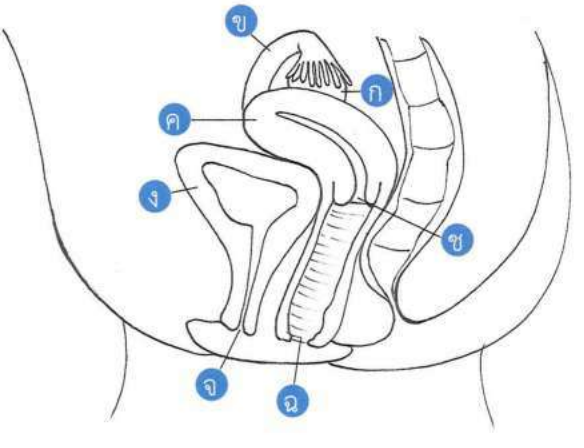
.... 2. ทำหน้าที่หลั่งของเหลว เมือก และสารอาหารที่เป็นแหล่งพลังงานให้กับสเปิร์ม

.... 3. หลั่งของเหลวซึ่งมีสมบัติเป็นเบสเพื่อปรับสภาพภายในท่อปัสสาวะให้เป็นกลาง

.... 4. บริเวณที่สามารถผูก ตัด หรือจี้ด้วยไฟฟ้าเพื่อทำหมัน

.... 5. บริเวณที่สเปิร์มพัฒนาต่อจนเจริญเต็มที่

2.2 เพศหญิง



.... 1. ทำหน้าที่ผลิตเซลล์ไข่และอีสโทรเจน

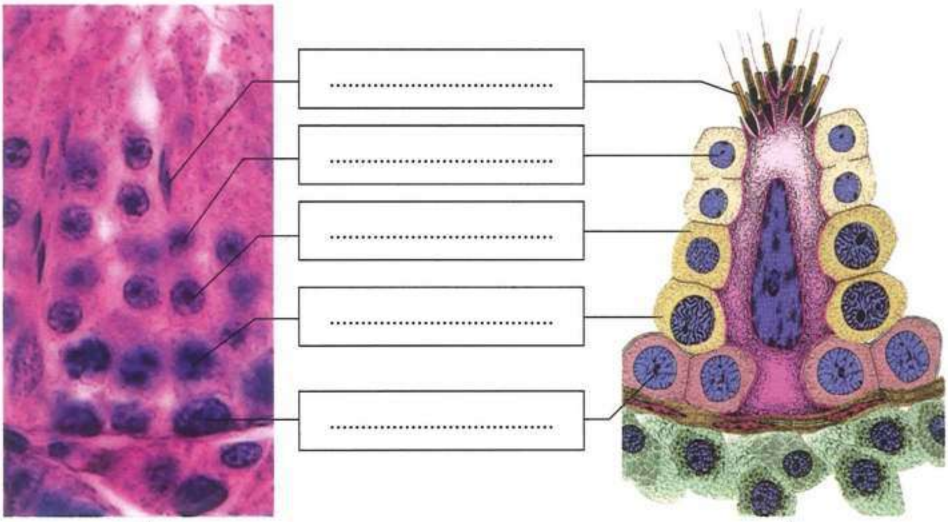
.... 2. บริเวณในระบบสืบพันธุ์เพศหญิงที่สามารถผูก ตัด หรือจี้ด้วยไฟฟ้าเพื่อทำหมัน

.... 3. ส่วนที่เยื่อบุผิวสลายกลายเป็นประจำเดือน

.... 4. บริเวณที่เอ็มบริโอฝังตัว

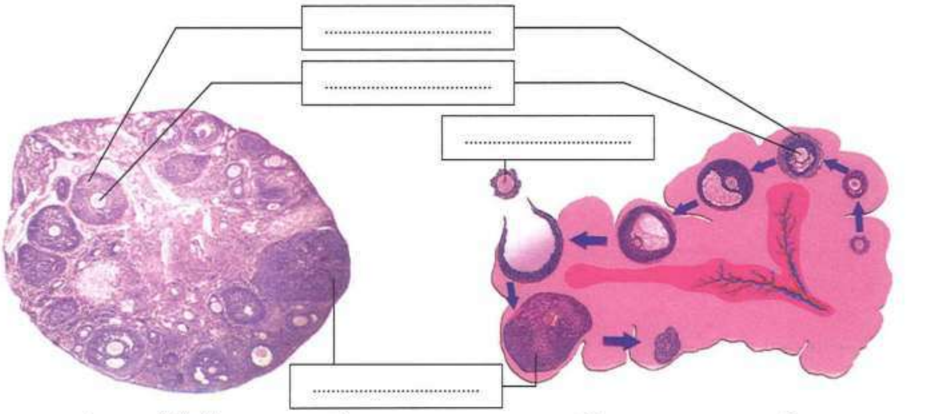
.... 5. บริเวณที่เกิดการปฏิสนธิ

3. จากรูปถ่ายและรูปวาดเนื้อเยื่อหลอดสร้างอสุจิของหนูขาวที่นำมาตัดตามขวางและศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จงเติมชื่อเซลล์ (ภาษาอังกฤษ) ในกระบวนการสร้างสเปิร์มลงในช่องว่าง พร้อมระบุว่าเซลล์เป็นดิพลอยด์ (2n) หรือแฮพลอยด์ (n)



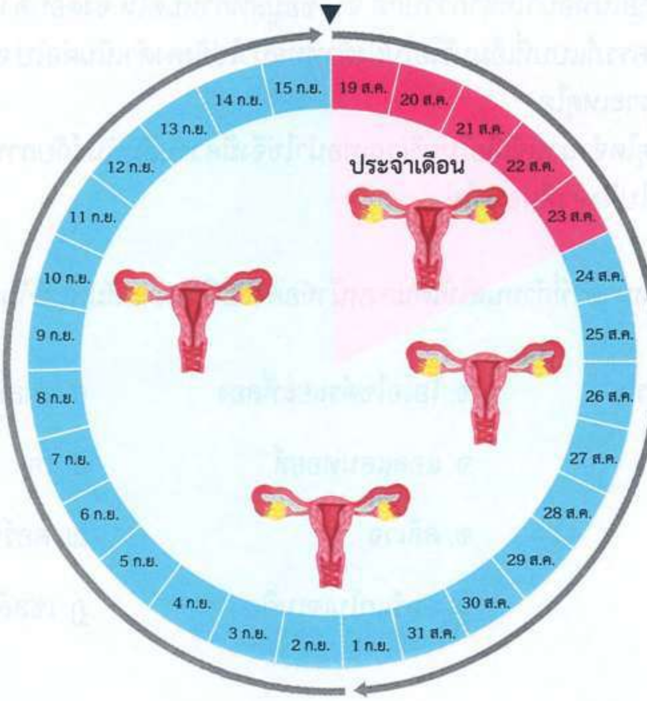
รูปถ่าย รูปวาด

4. จากรูปถ่ายเนื้อเยื่อรังไข่ของหนูขาวที่นำมาตัดตามขวางและศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์และรูปเรียงตามระยะการเจริญ จงเติมชื่อเซลล์ (ภาษาอังกฤษ) ในกระบวนการสร้างเซลล์ไข่ลงในช่องว่าง



รูปถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ รูปเรียงตามระยะการเจริญ

5. จากรูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของเอนโดมีเทรียมในช่วงต่าง ๆ ของรอบประจำเดือน ถ้าผู้หญิงคนหนึ่งมีประจำเดือนวันแรกในวันที่ 19 สิงหาคม และมีรอบประจำเดือนเป็นปกติทุก ๆ 28 วัน จงตอบคำถามต่อไปนี้



5.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอีสโทรเจนในเลือดในสัปดาห์สุดท้ายของเดือนสิงหาคมเป็นอย่างไร และส่งผลอย่างไร

5.2 ผู้หญิงคนนี้จะมีการตกไข่ประมาณวันที่เท่าใด และคาดว่าจะมีประจำเดือนรอบถัดไปในช่วงวันที่เท่าใด

5.3 ในช่วงวันที่เท่าใดที่ผู้หญิงคนนี้มีโอกาสที่จะตั้งครรภ์หากมีเพศสัมพันธ์โดยไม่มีการคุมกำเนิด เพราะเหตุใด

5.4 หากมีการปฏิสนธิระดับความเข้มข้นของโพรเจสเทอโรนจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

5.5 ถ้าในเวลาต่อมา ผู้หญิงคนนี้มีรอบประจำเดือนทุก ๆ 22 วัน และมีเพศสัมพันธ์โดยไม่มีการคุมกำเนิดในวันที่ 12 ของรอบประจำเดือน มีโอกาสที่จะเกิดการปฏิสนธิหรือไม่

6. ภาวะการตั้งครรภ์นอกมดลูก (ectopic pregnancy) เป็นภาวะที่เอ็มบริโอไม่ได้ไปฝังตัวที่เอนโดมีเทรียมตามปกติ แต่ไปฝังตัวที่บริเวณอื่นแทน ภาวะการตั้งครรภ์นอกมดลูกที่พบบ่อยคือเอ็มบริโอไปฝังตัวที่บริเวณท่อนำไข่ ซึ่งผู้หญิงที่มีการตั้งครรภ์แบบนี้มักจะมีจำนวนของซิเลียในท่อนำไข่ต่ำกว่าปกติ จากข้อมูลที่กำหนดให้ จงตอบคำถามต่อไปนี้
   6.1 ถ้าการตั้งครรภ์แบบที่เอ็มบริโอไปฝังตัวที่ท่อนำไข่ยังคงดำเนินต่อไป จะเกิดเหตุการณ์ใดขึ้น เพราะเหตุใด
   6.2 เพราะเหตุใดจำนวนซิเลียในบริเวณท่อนำไข่จึงมีความสัมพันธ์กับการตั้งครรภ์แบบที่เอ็มบริโอไปฝังตัวที่ท่อนำไข่

7. จงนำตัวอักษรหน้าคำที่กำหนดให้เติมลงหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน

ก. โอโอไซต์ระยะแรก	ข. โอโอไซต์ระยะที่สอง	ค. แกสทรูลา
ง. ท่อนำไข่	จ. แอลแลนทอยส์	ฉ. รก
ช. การแบ่งเซลล์	ซ. คลีเวจ	ฌ. คอร์ปัสลูเทียม
ญ. บลาสทูลา	ฎ. ออร์แกโนเจเนซิส	ฏ. เซลล์ไข่

.... 7.1 เซลล์ที่หลุดออกจากฟอลลิเคิลเข้าสู่ท่อนำไข่ในกระบวนการตกไข่
.... 7.2 โครงสร้างที่ลำเลียงสารอาหารและแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนระหว่างแม่กับลูก
.... 7.3 การที่ไซโกตมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสอย่างรวดเร็วในกระบวนการเจริญเติบโตของกบ
.... 7.4 เอ็มบริโอในระยะที่มีการจัดเรียงตัวของกลุ่มเซลล์เป็น 3 ชั้น คือ เอ็กโทเดิร์ม เมโซเดิร์ม และเอนโดเดิร์ม
.... 7.5 โครงสร้างของเอ็มบริโอไก่ที่ใช้แลกเปลี่ยนแก๊สและเก็บของเสียประเภทกรดยูริก
.... 7.6 โครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงมาจากฟอลลิเคิล ทำหน้าที่สร้างโพรเจสเทอโรน

8. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

การเจริญเติบโตของสัตว์

.... 8.1 การที่มีปริมาณและการกระจายของไข่แดงในเซลล์ไข่ไม่เท่ากันทำให้สัตว์มีลักษณะการแบ่งเซลล์ในคลีเวจของเอ็มบริโอต่างกัน

....

.... 8.2 ในคลีเวจพบว่าเอ็มบริโอมีการเพิ่มขนาดอย่างรวดเร็ว

....

.... 8.3 การแบ่งเซลล์ในคลีเวจอัตราส่วนพื้นที่ผิวของเซลล์ต่อปริมาตรจะลดลง

....

.... 8.4 ถุงน้ำคร่ำของไก่เป็นถุงบรรจุของเหลวทำหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือนและไม่ให้เอ็มบริโอแห้ง คอเรียนของไก่เป็นถุงทำหน้าที่สะสมอาหาร

....

.... 8.5 เยื่อหุ้มไข่ขาวของไข่ไก่ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายและการสูญเสียน้ำของเซลล์

....

.... 8.6 สมอง ไขสันหลัง เล็บ เลนส์ตา และโนโทคอร์ด เป็นอวัยวะที่เจริญมาจากเอ็กโทเดิร์มของเอ็มบริโอ

....

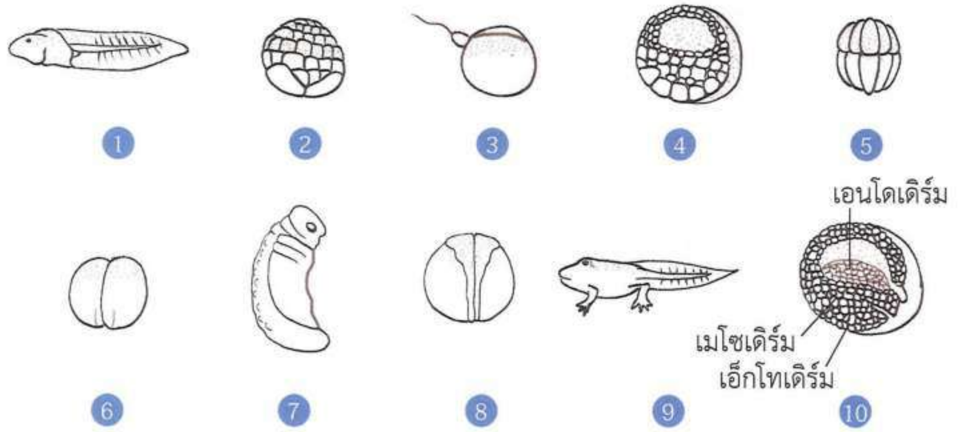
.... 8.7 ถุงน้ำคร่ำพบได้ทั้งในสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก สัตว์เลื้อยคลาน สัตว์ปีก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม

....

.... 8.8 ฟีตัสได้รับสารอาหารและแก๊สออกซิเจนจากรกผ่านทางสายสะดือ

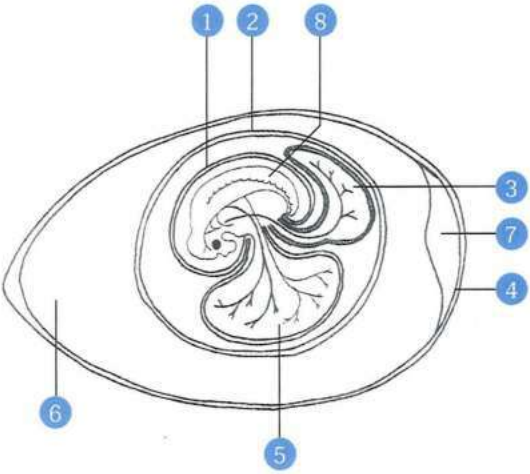
....

9. จากรูปการเจริญเติบโตของกบ จงเติมหมายเลขลงในตารางให้สัมพันธ์กับลำดับของกระบวนการที่เกิดขึ้น สามารถตอบได้มากกว่า 1 หมายเลข

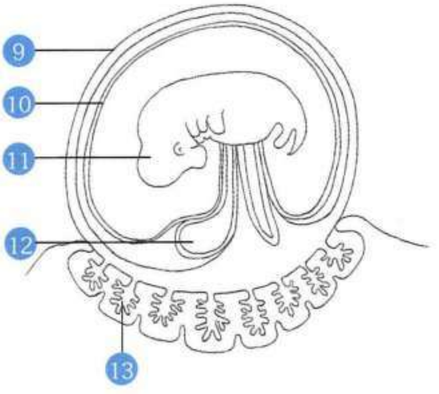


กระบวนการ	หมายเลข
9.1 ปฏิสนธิ	
9.2 คลีเวจ	
9.3 แกสทรูเลชัน	
9.4 ออร์แกโนเจเนซิส	
9.5 เมทามอร์โฟซิส	

10. จากรูปการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอของไก่และเอ็มบริโอของมนุษย์ จงเติมหมายเลขและชื่อโครงสร้างของเอ็มบริโอ (ภาษาอังกฤษ) ที่สัมพันธ์กับหน้าที่ลงในตาราง



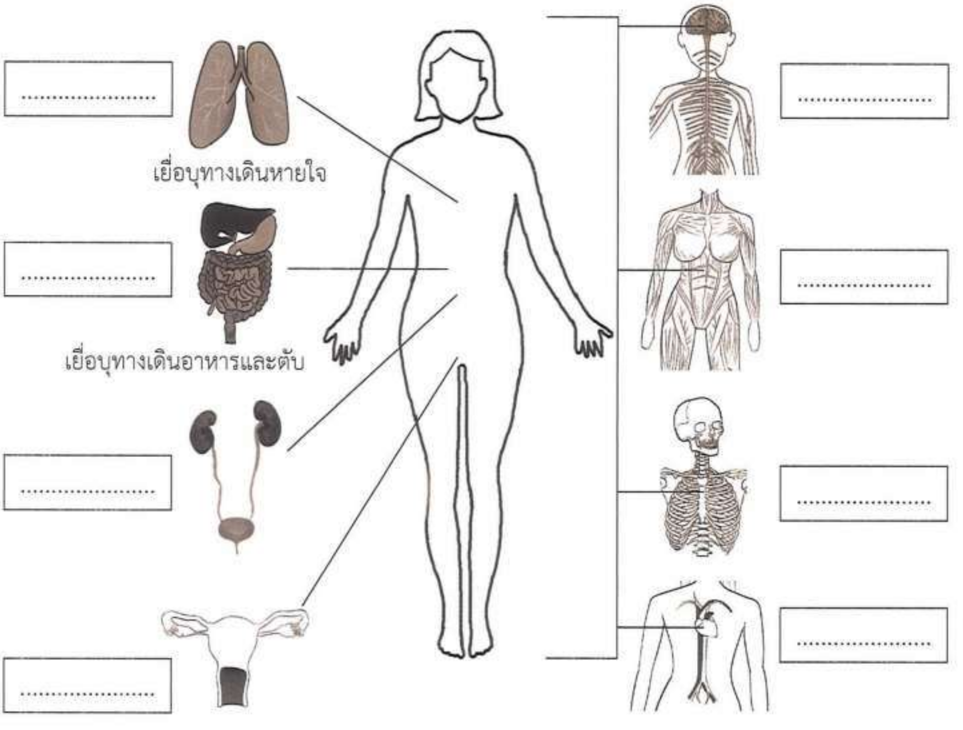
เอ็มบริโอของไก่



เอ็มบริโอของมนุษย์

หน้าที่	หมายเลขและชื่อโครงสร้าง เอ็มบริโอของไก่	หมายเลขและชื่อโครงสร้าง เอ็มบริโอของมนุษย์
10.1 แลกเปลี่ยนแก๊ส		
10.2 เก็บของเสียที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ		
10.3 เก็บหรือลำเลียงสารอาหารสำหรับเอ็มบริโอ		
10.4 ป้องกันเอ็มบริโอไม่ให้ได้รับการกระทบกระเทือน		

11. เอ็มบริโอของมนุษย์มีการเจริญเติบโตในแกสทรูลา โดยมีการจัดเรียงตัวของกลุ่มเซลล์ 3 ชั้น ซึ่งจะพัฒนาไปเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่เฉพาะ จงระบุว่าอวัยวะในรูปมีการพัฒนามาจากกลุ่มเซลล์ชั้นใด



12. กลุ่มอาการผิดปกติของทารกในครรภ์จากการดื่มแอลกอฮอล์ของมารดา (fetal alcohol spectrum disorder; FASD) ทำให้การเจริญของเอ็มบริโอผิดปกติ เมื่อคลอดออกมาทารกจะมีกะโหลกศีรษะเล็ก ร่างกายเล็ก และปัญญาอ่อน นอกจากนี้ยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตของทารก ทั้งนี้อันตรายและความรุนแรงขึ้นอยู่กับปริมาณแอลกอฮอล์ที่ดื่มและอายุครรภ์ โดยเฉพาะในช่วง 3 เดือนแรกของการตั้งครรภ์ แพทย์จึงแนะนำให้หญิงที่ตั้งครรภ์งดดื่มแอลกอฮอล์ตลอดการตั้งครรภ์ แอลกอฮอล์สามารถเข้าสู่เอ็มบริโอในครรภ์ได้อย่างไร เพราะเหตุใดการดื่มแอลกอฮอล์ในช่วง 3 เดือนแรกของการตั้งครรภ์จึงส่งผลรุนแรงกว่าในช่วงหลังจาก 3 เดือนแรกของการตั้งครรภ์

บทที่ 22 | พฤติกรรมของสัตว์

ipst.me/10778



สัตว์แสดงพฤติกรรมต่าง ๆ มากมาย พฤติกรรมที่แสดงออกส่วนใหญ่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์สปีชีส์นั้น นกสร้างรังเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยและวางไข่ นกต่างสปีชีส์กันจะสร้างรังที่มีความแตกต่างกันทั้งวัสดุที่ใช้ทำรัง รูปแบบ และขนาดของรัง เมื่อลูกนกฟักออกจากไข่ จะส่งเสียงร้องได้ และเมื่อเจริญเติบโตขึ้น จะสามารถร้องเป็นรูปแบบได้เช่นเดียวกับพ่อแม่ เช่น นกร้องคล้ายเสียงเพลงในฤดูผสมพันธุ์เพื่อเรียกหาคู่ **การศึกษาพฤติกรรมต่าง ๆ ของสัตว์ทำได้อย่างไร พฤติกรรมของสัตว์มีอะไรบ้าง มีสาเหตุและกลไกของการเกิดพฤติกรรมอย่างไร**

คำถามสำคัญ

1. **พฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดและพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ของสัตว์คืออะไรและมีความแตกต่างกันอย่างไร**
2. **วิวัฒนาการของระบบประสาทเกี่ยวข้องกับการแสดงพฤติกรรมของสัตว์อย่างไร**
3. **สัตว์สื่อสารกันได้อย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการศึกษาพฤติกรรมของสัตว์
2. อธิบายกลไกการเกิดพฤติกรรมของสัตว์
3. สืบค้นข้อมูล อธิบาย เปรียบเทียบ และยกตัวอย่างพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดและพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ของสัตว์
4. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมกับวิวัฒนาการของระบบประสาท
5. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างการสื่อสารระหว่างสัตว์ที่ทำให้สัตว์แสดงพฤติกรรม

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. มนุษย์และสัตว์มีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอกและสิ่งเร้าภายใน
2. การแสดงพฤติกรรมของสัตว์ถูกควบคุมโดยระบบประสาท
3. ฮอร์โมนมีผลต่อการแสดงพฤติกรรมของสัตว์
4. สัตว์ทุกสปีชีส์แสดงพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ได้
5. การร้องขออาหารของลูกนกแรกเกิดสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่จำเป็นต้องเรียนรู้จากประสบการณ์
6. การได้รับสารเสพติดทำให้พฤติกรรมของมนุษย์และสัตว์เปลี่ยนแปลงไป
7. การแสดงพฤติกรรมบางอย่างของสัตว์ต้องอาศัยประสบการณ์
8. ปฏิกิริยารีเฟล็กซ์เป็นพฤติกรรมที่มีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าทันทีโดยการสั่งงานของสมอง
9. พัฒนาการทางร่างกายของสัตว์ไม่มีผลต่อการแสดงพฤติกรรมของสัตว์
10. พฤติกรรมของสัตว์ทุกชนิดจะคงอยู่ถาวร ไม่ลดระดับการตอบสนองต่อสิ่งเร้าทุกชนิด

พฤติกรรมของสัตว์เป็นการกระทำที่สัตว์ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากสิ่งเร้าภายในและสิ่งเร้าภายนอก สัตว์ต่าง ๆ แสดงพฤติกรรมที่แตกต่างกัน เช่น การรำแพนหางของนกยูง การชักใยของแมงมุม การว่ายน้ำของปลา การกกไข่ของแม่ไก่ **พฤติกรรมที่สัตว์แสดงมีประโยชน์ต่อสัตว์อย่างไร สิ่งเร้าที่กระตุ้นให้สัตว์แสดงพฤติกรรมคืออะไร และมีกลไกการเกิดพฤติกรรมอย่างไร มนุษย์จะได้ประโยชน์อะไรจากการศึกษาพฤติกรรมของสัตว์**

22.1 การศึกษาพฤติกรรมของสัตว์

การศึกษาพฤติกรรมของสัตว์อาจศึกษาในแนว**พรอกซิเมตคอส** (proximate cause) ซึ่งศึกษาในแง่กลไกการแสดงออกของพฤติกรรม และสิ่งเร้าที่ทำให้เกิดพฤติกรรม รวมถึงพัฒนาการของพฤติกรรมที่เกิดขึ้น ส่วนการศึกษาพฤติกรรมในแนว**อัลทิเมตคอส** (ultimate cause) เป็นการศึกษาผลของพฤติกรรมที่สัตว์แสดงออกต่อการปรับตัวในสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ตลอดจนวิวัฒนาการของพฤติกรรมนั้น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์กลุ่มที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกัน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

นกกระจิ๊ด (*Setophaga magnolia*) มีการผสมพันธุ์ในฤดูใบไม้ผลิและต้นฤดูร้อน ถ้าศึกษาในแนวพรอกซิเมตคอส อธิบายได้ว่าการผสมพันธุ์เกิดขึ้นในช่วงดังกล่าวเพราะมีช่วงกลางวันที่ยาวทำให้กระตุ้นการสร้างฮอร์โมนซึ่งชักนำให้แสดงพฤติกรรมส่งเสียงร้องและสร้างรัง ส่วนในแนวอัลทิเมตคอส อธิบายได้ว่าช่วงเวลานั้นมีอาหารอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การทำรังและผสมพันธุ์ซึ่งทำให้ลูกนกที่ฟักออกจากไข่มีโอกาสอยู่รอดมากขึ้น

หนูแพรรี (*Microtus ochrogaster*) มีพฤติกรรมการผสมพันธุ์คู่เดียว ถ้าศึกษาในแนวพรอกซิเมตคอส พบว่าพฤติกรรมนี้ถูกควบคุมโดยยีนชนิดหนึ่ง และโครงสร้างของสมองหนูมีตัวรับโปรตีนที่จะจับกับ ADH ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ทำให้เกิดความผูกพัน ทำให้หนูแพรรีมีพฤติกรรมการผสมพันธุ์คู่เดียวมากขึ้น ส่วนในแนวอัลทิเมตคอส อธิบายได้ว่าพฤติกรรมการผสมพันธุ์คู่เดียวทำให้หนูช่วยกันเลี้ยงดูลูก ทำให้ลูกมีโอกาสอยู่รอดมากขึ้น

ตรวจสอบความเข้าใจ

? การศึกษาว่ายีนใดส่งผลต่อรูปแบบการชักใยของแมงมุมสายพันธุ์หนึ่ง เป็นการศึกษาพฤติกรรมในแนวพรอกซิเมตคอสหรือแนวอัลทิเมตคอส เพราะเหตุใด

22.2 กลไกการเกิดพฤติกรรม

การดำรงชีวิตของสัตว์แต่ละสปีชีส์จะแตกต่างกันไปตามการรับรู้ต่อสิ่งแวดล้อม โดยข้อมูลจะถูกส่งผ่านทางหน่วยรับความรู้สึก ซึ่งอาจเป็นโครงสร้างง่าย ๆ เพียงบริเวณใดบริเวณหนึ่งบนผิวเซลล์หรืออาจเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนของอวัยวะในสัตว์มีกระดูกสันหลัง หน่วยรับความรู้สึกจะเปลี่ยนสิ่งเร้าให้เป็นกระแสประสาทเข้าสู่หน่วยประมวลผลข้อมูลในสมองแล้วส่งคำสั่งไปยังหน่วยปฏิบัติงาน นอกจากนี้พฤติกรรมบางอย่างอาจเกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ เพื่อแสดงพฤติกรรมที่เหมาะสม ดังรูป 22.1



รูป 22.1 แผนผังกลไกการเกิดพฤติกรรม

พฤติกรรมจึงเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเร้าภายในและสิ่งเร้าภายนอกกับพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับสรีระของสัตว์ เช่น ระบบประสาท ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบกล้ามเนื้อ ทำให้สัตว์แสดงท่าทางเคลื่อนไหว ส่งเสียง ปรับสี รูปร่าง และอื่น ๆ ได้ พฤติกรรมที่แสดงออกนี้ช่วยให้สัตว์สามารถตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่สัตว์อาศัยอยู่อย่างเหมาะสม พฤติกรรมจะซับซ้อนมากหรือน้อยขึ้นกับประสิทธิภาพของหน่วยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

สิ่งเร้าภายนอกเป็นปัจจัยต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวของสัตว์ประกอบด้วยปัจจัยทางกายภาพ เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ หรือปัจจัยทางชีวภาพ เช่น ภาวะแข่งขันกับสัตว์ตัวอื่นทั้งในสปีชีส์เดียวกันหรือต่างสปีชีส์ หรือพฤติกรรมของสัตว์ตัวอื่น สำหรับสิ่งเร้าภายในโดยทั่วไปคือฮอร์โมนซึ่งเกี่ยวข้องกับการรักษาดุลยภาพของร่างกาย ตัวอย่างเช่น เมื่อแรงดันออสโมติกของเลือดสูงจะกระตุ้นให้สมองส่วนไฮโพทาลามัสควบคุมต่อมใต้สมองส่วนหลังให้หลั่ง ADH มากขึ้น ซึ่งจะไปกระตุ้นเซลล์ที่ท่อขดส่วนปลายของหน่วยไตและเซลล์ของท่อรวมให้ดูดกลับน้ำเข้าสู่หลอดเลือดฝอยมากขึ้น จึงปัสสาวะน้อยลง นอกจากนี้สมองส่วนไฮโพทาลามัสยังกระตุ้นให้กระหายน้ำ จึงดื่มน้ำมากขึ้น แรงดันออสโมติกของเลือดจึงเป็นปกติ

โดยทั่วไปพฤติกรรมที่สัตว์แสดงออกจะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ สอดคล้องกับการดำเนินชีวิต ซึ่งเป็นผลจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ และการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เช่น แมงมุมต่างสปีชีส์มีการชักใยที่แตกต่างกันตามชนิดและการกระจายตัวของเหยื่อที่ระดับความสูงที่ต่างกัน ดังรูป 22.2 อย่างไรก็ดีเมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง พฤติกรรมก็อาจเปลี่ยนแปลงได้บ้างเนื่องจากสัตว์มีการเรียนรู้เพื่อให้อยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้ดียิ่งขึ้น



รูป 22.2 การชักใยของแมงมุมต่างสปีชีส์ในรูปแบบต่างกัน

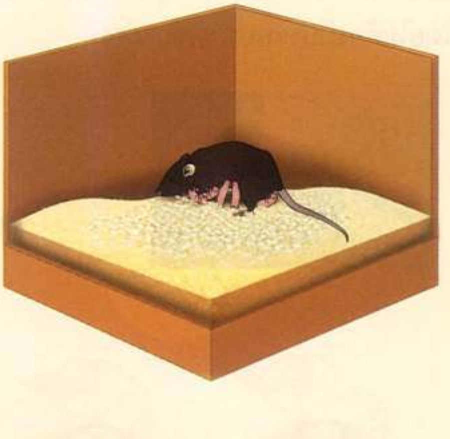
แมงมุมสปีชีส์ A ชักใยที่ระดับความสูงจากพื้นมาก จึงมักพบแมงมุมสปีชีส์นี้ชักใยตามกิ่งไม้ที่อยู่สูงบริเวณที่โปร่งบนชั้นเรือนยอดและมีกิ่งไม้ล้อมรอบ การชักใยแบบนี้จะช่วยดักเหยื่อที่บินผ่านชั้นเรือนยอดของต้นไม้ ระหว่างการดักจับเหยื่อแมงมุมจะอยู่บริเวณกึ่งกลางของใยที่สร้างขึ้น เมื่อมีเหยื่อมาติดที่ใยแมงมุม เหยื่อจะดิ้นและเกิดแรงสั่นสะเทือนจนแมงมุมตรวจจับได้ แมงมุมจะเคลื่อนที่ไปตามใยเข้าหาเหยื่อ และกินเหยื่อเป็นอาหาร

? แมงมุมสปีชีส์ E มีการชักใยและมีชนิดเหยื่อต่างจากแมงมุมสปีชีส์ A อย่างไร

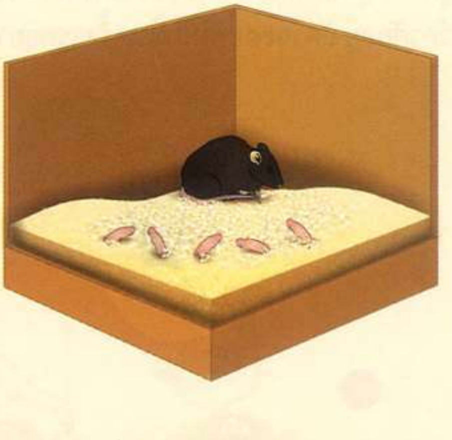
พฤติกรรมที่สัตว์แสดงเป็นผลที่เกิดจากการกำหนดโดยพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปพฤติกรรมจะกำหนดโดยพันธุกรรมเป็นพื้นฐาน แต่อาจเปลี่ยนแปลงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการเรียนรู้จากประสบการณ์ แต่ปัจจัยใดจะมีบทบาทมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของสัตว์และรูปแบบของพฤติกรรม สัตว์ที่มีขนาดเล็กและอายุสั้นต้องแสดงพฤติกรรมอย่างเจาะจงตามพันธุกรรมจึงจะอยู่รอด พันธุกรรมจึงมีบทบาทมากกว่าประสบการณ์ ส่วนสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ อายุยืน ต้องปรับพฤติกรรมให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมตลอดเวลา ประสบการณ์จึงมีบทบาทสำคัญในการแสดงพฤติกรรม

กรณีศึกษา

ในการศึกษาผลของยีน *fosB* ต่อพฤติกรรมเลี้ยงลูกในหนูเมาส์ (mouse) เพศเมีย โดยทำการทดลองในหนูที่มียีน *fosB* ปกติกับหนูที่ทำให้ยีน *fosB* ไม่แสดงออก ผลการศึกษาพบว่าหนูทั้งสองกลุ่มยังดำรงชีวิตเป็นปกติ โดยหนูที่มียีนปกติแสดงพฤติกรรมเลี้ยงลูก ในขณะที่หนูที่ยีน *fosB* ไม่แสดงออก จะไม่แสดงพฤติกรรมเลี้ยงลูก โดยไม่ยอมให้นมลูกและไม่ให้ลูกเข้าใกล้ เนื่องจากในภาวะปกติยีน *fosB* จะทำหน้าที่กระตุ้นให้เกิดการสร้างโปรตีนเฉพาะที่จะมีผลต่อการทำงานของสมองส่วนไฮโพทาลามัส ทำให้แม่หนูแสดงพฤติกรรมเลี้ยงลูก ดังนั้นในหนูที่ยีน *fosB* ไม่แสดงออกจะทำให้กลไกของการเกิดพฤติกรรมดังกล่าวหยุดชะงักเพราะไม่มีการสร้างโปรตีนจึงไม่เกิดการกระตุ้นการทำงานของสมอง หนูจึงไม่แสดงพฤติกรรมเลี้ยงลูก



ก. หนูที่มียีน *fosB* ปกติ



ข. หนูที่ทำให้ยีน *fosB* ไม่แสดงออก

? การทดลองนี้มีสมมติฐานว่าอย่างไร

? พฤติกรรมเลี้ยงลูกในหนูเมาส์เกี่ยวข้องกับพันธุกรรมอย่างไร

22.3 ประเภทพฤติกรรมของสัตว์

พฤติกรรมที่พันธุกรรมมีบทบาทในการตอบสนองต่อสิ่งเร้ามากกว่าประสบการณ์มักเป็น **พฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด** (innate behavior หรือ inherited behavior) สัตว์แสดงพฤติกรรมนี้เพื่อความอยู่รอด หลีกหนีจากผู้ล่า และดำรงเผ่าพันธุ์ของตนเอง ส่วนพฤติกรรมที่ประสบการณ์มีบทบาทมากกว่าพันธุกรรมจะเป็น**พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้** (learned behavior) อย่างไรก็ตามการแสดงออกของพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ อาจต้องมีความพร้อมของโครงสร้างหรืออวัยวะที่เกี่ยวข้องด้วย อาจกล่าวได้ว่าพันธุกรรมจะมีบทบาทมากในพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดและประสบการณ์จะมีบทบาทมากในพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้

22.3.1 พฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด

พฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด หมายถึงพฤติกรรมที่สัตว์ทุกตัวในประชากรมักแสดงออกได้เหมือนกันและเป็นแบบแผนเดียวกันโดยไม่ต้องมีประสบการณ์ มีรูปแบบการพัฒนาหรือการแสดงพฤติกรรมอย่างตายตัวแม้ว่าสภาพแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไป โดยพันธุกรรมมีบทบาทสำคัญในการตอบสนองต่อสิ่งเร้า ตัวอย่างเช่น แม่นกนางนวลจะมีจุดสีแดงที่ปลายปากด้านล่าง เมื่อลูกนกจิกที่จุดสีแดงนี้ แม่นกนางนวลจะป้อนอาหารให้ ดังรูป 22.3 ก. ขณะที่แม่ห่านกำลังกกไข่และเห็นไข่อยู่นอกรัง จะใช้ปากกลิ้งไข่ให้กลับเข้าไปอยู่ในรังเพื่อกกไข่ ดังรูป 22.3 ข. พฤติกรรมนี้เป็นพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด และจะถูกกระตุ้นโดย**สิ่งเร้าที่เป็นเครื่องหมาย** (sign stimulus) ซึ่งเป็นสิ่งต่าง ๆ ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติที่สัตว์อาศัยอยู่ สัตว์จะตอบโต้ได้ในครั้งแรกอย่างเหมาะสมโดยไม่ต้องมีประสบการณ์มาก่อน



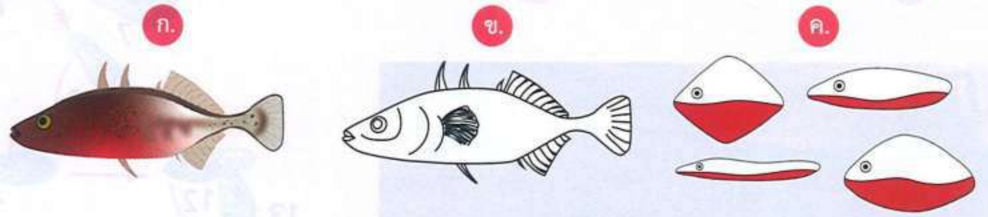
รูป 22.3 พฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด
ก. ลูกนกนางนวลจิกที่จุดสีแดงที่ปลายปากด้านล่างของแม่ ข. แม่ห่านกลิ้งไข่กลับเข้ารัง

จากพฤติกรรมของลูกนกนางนวลและแม่ห่านเป็นตัวอย่างของพฤติกรรมแบบ**ฟิกซ์แอกชันแพทเทิร์น** (fixed action pattern) ซึ่งเป็นการแสดงออกของพฤติกรรมอย่างเป็นลำดับขั้นที่ถูกกระตุ้นโดยสิ่งเร้าที่เป็นเครื่องหมาย ฟิกซ์แอกชันแพทเทิร์นเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพฤติกรรมในลำดับขั้นได้ และลำดับขั้นของการแสดงพฤติกรรมจะเกิดต่อไปจนจบ ซึ่งพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดจะมีฟิกซ์แอกชันแพทเทิร์นเป็นพื้นฐาน

? จากตัวอย่างลูกนกนางนวลและแม่ห่าน สิ่งเร้าที่เป็นเครื่องหมายที่กระตุ้นให้แสดงพฤติกรรมคืออะไร

ตรวจสอบความเข้าใจ

ในฤดูผสมพันธุ์ปลาหลังหนามเพศผู้ที่มีสีแดงใต้ท้องจะป้องกันอาณาเขตการวางไข่และจะก้าวร้าวต่อปลาหลังหนามเพศผู้ตัวอื่นที่มีสีแดงใต้ท้อง และเมื่อทดลองให้สิ่งเร้าที่เป็นหุ่นจำลองปลาหลังหนามที่ไม่มีสีแดงที่ด้านล่างและหุ่นจำลองแบบต่าง ๆ ที่มีรูปร่างไม่เหมือนปลาหลังหนามแต่มีสีแดงที่ด้านล่าง พบว่าปลาหลังหนามเพศผู้แสดงพฤติกรรมก้าวร้าวต่อหุ่นจำลองแบบต่าง ๆ ที่มีสีแดงที่ด้านล่างแต่ไม่ก้าวร้าวกับหุ่นจำลองปลาหลังหนามเพศผู้ที่ไม่มีสีแดงที่ด้านล่าง



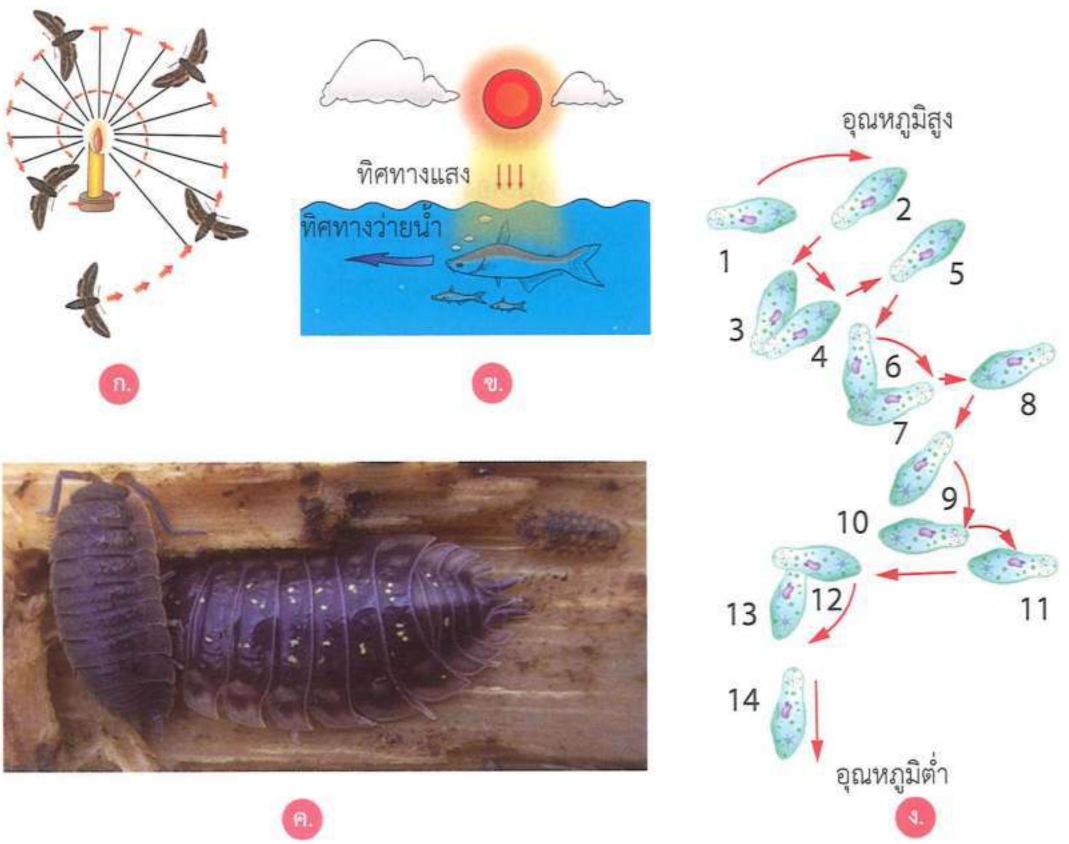
ก. ปลาหลังหนามเพศผู้ที่มีสีแดงใต้ท้อง
ข. หุ่นจำลองปลาหลังหนามเพศผู้ที่ไม่มีสีแดงที่ด้านล่าง
ค. หุ่นจำลองแบบต่าง ๆ ที่มีสีแดงที่ด้านล่าง

? จากการทดลองสิ่งเร้าที่เป็นเครื่องหมายซึ่งกระตุ้นให้ปลาหลังหนามเพศผู้แสดงพฤติกรรมก้าวร้าวคืออะไร

? พฤติกรรมก้าวร้าวของปลาหลังหนามเพศผู้เป็นพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด หรือพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ และสัตว์ที่แสดงพฤติกรรมนี้จะได้รับประโยชน์อย่างไร

โอเรียนเทชัน

โอเรียนเทชัน (orientation) เป็นพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด พบได้ในโพรโทซัวและสัตว์ สิ่งมีชีวิตจะตอบสนองต่อปัจจัยทางกายภาพที่มีอยู่ เช่น แสง แรงโน้มถ่วงของโลก กระแสลม กระแสน้ำ โดยสิ่งมีชีวิตจัดวางตัวให้อยู่ในตำแหน่งที่สอดคล้องกับปัจจัยนั้นในระดับที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิต เช่น การบินเข้าหาแสงของผีเสื้อกลางคืนที่ทำมุมประมาณ 80 องศากับแหล่งกำเนิดแสงตลอดเวลาและเข้าใกล้แสงเรื่อย ๆ จนชนกับแสงไฟ ดังรูป 22.4 ก. การว่ายน้ำของปลาโดยหลังตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ดังรูป 22.4 ข. เหาไม้หรือตัวกะปิ (woodlouse) ดังรูป 22.4 ค. ซึ่งอาศัยอยู่ในที่มืดและชื้น จะเคลื่อนที่เร็วในที่โล่งและมีแสงมากและจะช้าลงหรือหยุดเคลื่อนที่ในที่มืดและชื้น พารามีเซียมเคลื่อนที่ออกจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงอย่างไม่มีทิศทาง ดังรูป 22.4 ง.



รูป 22.4 พฤติกรรมโอเรียนเทชัน

ก. การบินเข้าหาแสงของผีเสื้อกลางคืน ข. การว่ายน้ำของปลาโดยหลังตั้งฉากกับแสงอาทิตย์

ค. ตัวกะปิที่หยุดเคลื่อนที่ในที่มืดและชื้น ง. การเคลื่อนที่ของพารามีเซียมที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิ

ความรู้เพิ่มเติม

ในอดีตได้นิยามว่าถ้าสัตว์มีการเคลื่อนที่โดยมีทิศทางสัมพันธ์กับสิ่งเร้าเรียกว่า **แทกซิส** (taxis) แต่ถ้าสัตว์เคลื่อนที่โดยไม่มีทิศทางสัมพันธ์กับสิ่งเร้าเรียกว่า **ไคเนซิส** (kinesis) ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ไม่นิยมใช้นิยามศัพท์สองคำนี้เพื่ออธิบายพฤติกรรมของสัตว์ แต่เรียกรวมพฤติกรรมทั้งสองแบบให้อยู่ในพฤติกรรมแบบโอเรียนเทชันโดยไม่แบ่งแยกกัน เนื่องจากในบางกรณีพฤติกรรมการเคลื่อนที่แบบแทกซิสและไคเนซิสไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจน

การอพยพของสัตว์จัดเป็นพฤติกรรมโอเรียนเทชันแบบหนึ่ง แต่มีกลไกที่ซับซ้อนกว่าตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วมาก เช่น นกบางชนิดมีการอพยพหนีหนาวเพื่อหาอาหารและสืบพันธุ์

? ยกตัวอย่างพฤติกรรมแบบโอเรียนเทชันในสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นมาอย่างน้อย 2 ชนิด

? พฤติกรรมแบบโอเรียนเทชันมีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตอย่างไร

รู้หรือไม่

การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมและฤดูกาลเป็นสิ่งเร้าที่ทำให้นกมีการอพยพ ในฤดูหนาวเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง นกจะเริ่มอพยพโดยอาศัยสิ่งช่วยนำทาง เช่น ตำแหน่งของดวงอาทิตย์หรือดวงดาวบนท้องฟ้า และสนามแม่เหล็กโลก นกบางสปีชีส์มีอวัยวะพิเศษที่สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กโลกได้ เช่น นกพิราบ ในขณะที่นกบางสปีชีส์จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์เพื่อช่วยให้อพยพไปในพื้นที่ใหม่ที่เหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ห่านมักจะบินเป็นรูปอักษร V ขณะที่อพยพเป็นระยะทางไกล โดยห่านตัวที่มีประสบการณ์ในการนำทางสูงและแข็งแรงจะบินนำฝูงที่ปลายแหลมของ V เพราะห่านจ่าฝูงต้องรับแรงปะทะของกระแสลมและต้องออกแรงในการบินมากที่สุด เมื่อห่านจ่าฝูงเหนื่อยตัวอื่นจะคอยสลับเปลี่ยนมาเป็นตัวนำฝูงแทน การบินเป็นรูปอักษร V ช่วยลดการใช้พลังงานของนกในฝูงระหว่างอพยพประมาณร้อยละ 50 ของพลังงานที่ใช้ในการอพยพ เพราะนกตัวอื่นในฝูงจะได้รับแรงปะทะของกระแสลมน้อยลง ทำให้การบินง่ายขึ้น

นักเรียนจะได้ศึกษาพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดจากการทำกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 22.1 การศึกษาพฤติกรรมของจิ้งหรีด

จุดประสงค์

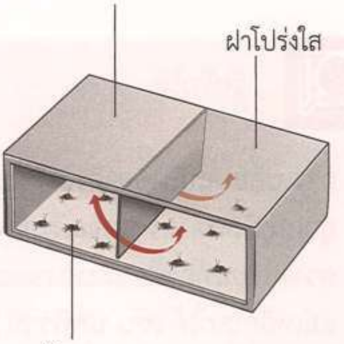
อธิบายพฤติกรรมโอเรียนเทชันของสัตว์

วัสดุและอุปกรณ์

1. จิ้งหรีด 30 ตัว
2. กล่องพลาสติกหรือกระดาษแข็ง
3. นาฬิกาจับเวลา
4. มีดตัดกระดาษ
5. เทปกาว
6. กระดาษทึบแสง
7. แผ่นพลาสติกใส

วิธีการทดลอง

1. นำกล่องพลาสติกหรือกล่องกระดาษมากั้นแบ่งครึ่งโดยใช้กระดาษแข็งยึดด้วยเทปกาวให้แน่น และให้ห่างจากพื้นกล่องประมาณ 3 เซนติเมตร
2. จัดทำฝาปิดกล่องด้านบนโดยให้ครึ่งหนึ่งเป็นกระดาษทึบแสงปิดไม่ให้แสงเข้าได้ และอีกครึ่งหนึ่งเป็นแผ่นพลาสติกโปร่งใสแสงสามารถผ่านได้
3. นำจิ้งหรีด 10 ตัว วางในกล่องด้านที่มีฝาทึบแสง ปิดฝากล่องและทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นนับจำนวนจิ้งหรีดในด้านฝาโปร่งใส และจิ้งหรีดที่ยังอยู่ในด้านฝาทึบแสง
4. ทำซ้ำตามข้อ 3 แต่สลับวางจิ้งหรีดในกล่องด้านฝาโปร่งใสแทน
5. ทำซ้ำข้อ 3 และ 4 อีก 2 ครั้ง จนจิ้งหรีดครบทั้ง 30 ตัว
6. นำเสนอผลการทดลอง และอภิปรายร่วมกัน



คำถามท้ายกิจกรรม

? ทิศทางการเคลื่อนที่ของจิ้งหรีดเป็นอย่างไร

? การเคลื่อนที่เพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าของจิ้งหรีดน่าจะมีประโยชน์อย่างไร

? สิ่งมีชีวิตชนิดใดบ้างที่มีการแสดงพฤติกรรมในรูปแบบคล้ายกับจิ้งหรีด

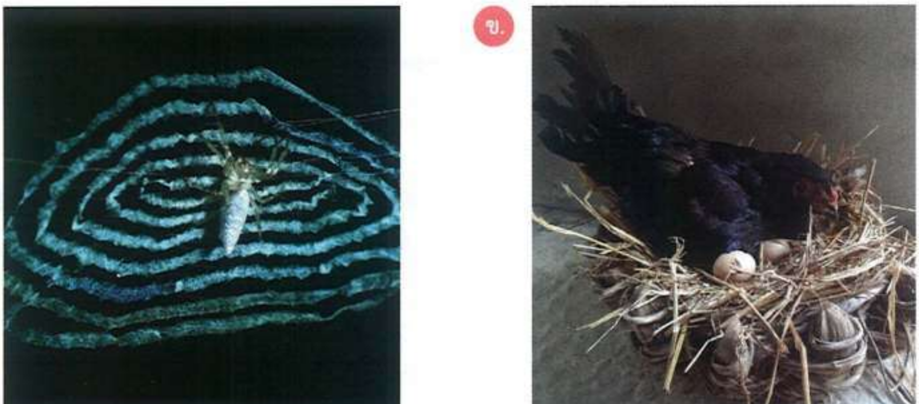
? ถ้าเปลี่ยนสิ่งเร้าเป็นชนิดอื่น เช่น อุณหภูมิ หรือความชื้น นักเรียนจะออกแบบการทดลองอย่างไร

รีเฟล็กซ์และรีเฟล็กซ์ต่อเนื่อง

พฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดอีกแบบคือ **รีเฟล็กซ์** (reflex) เป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้นได้โดยไม่จำเป็นต้องผ่านการประมวลผลจากสมอง เช่น การม้วนตัวของกิ้งกือเมื่อถูกสัมผัส การกะพริบตาเมื่อจะมีวัตถุเข้าตา และการกระตุกขาเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่าของมนุษย์ พฤติกรรมบางอย่างเมื่อเริ่มจากรีเฟล็กซ์แรกแล้วจะส่งผลต่อรีเฟล็กซ์อื่น ๆ ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้รับสิ่งที่ต้องการครบถ้วนจึงจะหยุดแสดงพฤติกรรม พฤติกรรมที่ประกอบด้วยพฤติกรรมย่อยเกิดต่อเนื่องกันนี้ เรียกว่า **รีเฟล็กซ์ต่อเนื่อง** (chain of reflexes หรือ stimulus-response chain) เช่น การดูดนมของทารกเริ่มจากสิ่งเร้าคือความหิว เมื่อปากได้สัมผัสกับหัวนม เป็นการกระตุ้นให้ทารกดูดนม และเกิดการกลืนเมื่อทารกยังไม่อิ่มจะกระตุ้นให้ดูดนมต่อไปอีกจนอิ่มจึงหยุด การสร้างรังของนกก็เช่นเดียวกัน ประกอบด้วยพฤติกรรมย่อย เช่น การบินออกไปหาวัสดุมาสร้างรัง จิกขึ้นมาตรวจสอบว่าเป็นวัสดุที่ต้องการ นำวัสดุนั้นมาและประกอบขึ้นเป็นรัง จากนั้นจะบินไปหาวัสดุชิ้นใหม่ต่อไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะได้รังที่สมบูรณ์ ตัวอย่างอื่น ๆ เช่น การชักใยของแมงมุม การฟักไข่ของแม่ไก่ ดังรูป 22.5

ก.

ข.



รูป 22.5 พฤติกรรมแบบรีเฟล็กซ์ต่อเนื่อง
ก. การชักใยของแมงมุม ข. การฟักไข่ของแม่ไก่

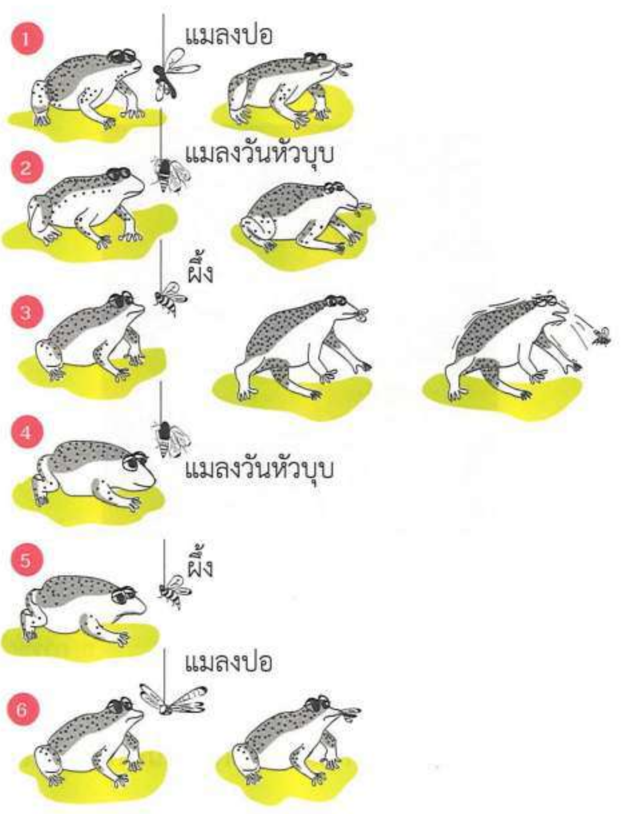
? ยกตัวอย่างพฤติกรรมรีเฟล็กซ์ต่อเนื่องที่พบในสัตว์ชนิดอื่นมา 2 ตัวอย่าง

22.3.2 พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้

พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้เป็นผลจากประสบการณ์ที่ผ่านมาตั้งแต่แรกเกิดจนเป็นตัวเต็มวัย ส่วนจะแสดงพฤติกรรมแบบใดนั้น พันธุกรรมจะเป็นตัวควบคุมให้เกิดความพร้อมด้านโครงสร้างของร่างกายและการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้จะได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้นเพื่อให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปโดยอาศัยประสบการณ์ที่ผ่านเข้ามาในช่วงชีวิต

พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้เป็นพฤติกรรมที่มีความซับซ้อนแม้จะถูกกำหนดโดยพันธุกรรมเป็นพื้นฐานแต่ก็มีประสบการณ์หรือสิ่งแวดล้อมเป็นตัวปรับพฤติกรรมให้ดำรงชีวิตในสิ่งแวดล้อมได้ดียิ่งขึ้น เช่น ในการทดลองการกินอาหารของคางคก ผู้ทดลองได้นำแมลงปอ แมลงวันหัวบุบ (robber fly) ซึ่งมีลักษณะคล้ายผึ้ง และผึ้ง มาแขวนไว้ให้คางคกตัวเดียวกันจับกินทีละชนิดตามลำดับ ดังรูป 22.6 (1-3) ปรากฏว่าคางคกสามารถใช้ลิ้นตวัดจับแมลงปอและแมลงวันหัวบุบกินได้ แต่เมื่อใช้ลิ้นตวัดจับผึ้งกินจะถูกผึ้งต่อยและคายผึ้งออก จากนั้นเมื่อผู้ทดลองนำแมลงวันหัวบุบและผึ้งมาแขวนให้คางคกตัวเดิมกินปรากฏว่าคางคกไม่ยอมกินทั้งแมลงวันหัวบุบและผึ้ง ดังรูป 22.6 (4 และ 5) แต่เมื่อผู้ทดลองนำแมลงปอมาแขวน ปรากฏว่าคางคกกินแมลงปอ ดังรูป 22.6 (6)

การใช้ลิ้นตวัดจับแมลงเข้าปากเป็นพฤติกรรมที่คางคกสามารถทำได้เองและมีแบบแผนที่แน่นอนจึงเป็นพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด ส่วนการที่คางคกไม่กินผึ้งหรือแมลงวันหัวบุบซึ่งมีลักษณะคล้ายผึ้งเพราะว่าเคยจับผึ้งกินแล้วถูกผึ้งต่อย แต่ยังคงกินแมลงปอต่อไป เนื่องจากเคยกินมาแล้วและไม่เป็นอันตราย การเลือกชนิดของแมลงที่จะกินเป็นอาหารของคางคกเป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้โดยนำเอาประสบการณ์มาปรับพฤติกรรมให้เหมาะสม



รูป 22.6 การทดลองพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ของคางคก

แฮบิชูเอชัน

แฮบิชูเอชัน (habituation) เป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการที่สัตว์เรียนรู้ที่จะลดการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เผชิญอยู่ เพราะเห็นว่าสิ่งเร้านั้นไม่เกิดประโยชน์หรือโทษกับการดำรงชีวิต จึงลดการตอบสนองลงเรื่อย ๆ และอาจหยุดตอบสนองเพื่อประหยัดพลังงาน เช่น ปลาพลวง (mahseer) เป็นปลาที่พบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำไหล หรือน้ำตก โดยปกติแล้วปลาพลวงว่ายน้ำเร็วและมีการระวังภัยที่สูงมาก โดยเมื่อมีสิ่งเคลื่อนไหวที่ผิวน้ำ ปลาพลวงจะว่ายหลบลงไปในโขดหินใต้น้ำอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อมีนักท่องเที่ยวเข้ามาเที่ยวน้ำตกอย่างต่อเนื่อง และไม่ทำอันตรายปลา พบว่าปลาพลวงจะลดพฤติกรรมระวังภัยลง โดยไม่ว่ายหลบลงไปในโขดหิน ดังรูป 22.7



รูป 22.7 ปลาพลวง

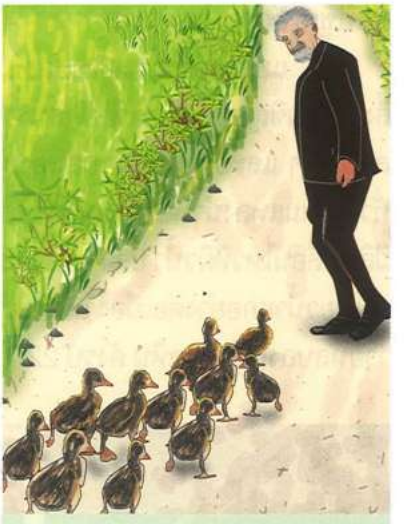
ตัวอย่างอื่น ๆ เช่น ถ้าแตะที่เนื้อหอยทาก ในตอนแรกหอยทากจะหดตัวกลับเข้าไปอยู่ในเปลือก แต่เมื่อแตะหลาย ๆ ครั้งต่อเนื่องกัน หอยทากจะไม่หดตัวกลับเข้าไปในเปลือกอีก นกที่ลงมากินพืชผลทางการเกษตรโดยไม่กลัวหุ่นไล่กาที่ชาวนาปักไว้ จนทำให้ชาวนาต้องหาวิธีอื่นมาไล่แทน แมลงหวี่จะบินหนีจากพื้นหรือวัตถุที่เกาะเมื่อมีแสงไฟหรือลมมากระทบ แต่เมื่อเกิดหลายครั้งต่อเนื่องกัน แมลงหวี่จะไม่บินหนีอีกต่อไป

? ยกตัวอย่างพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้แบบแฮบิชูเอชันของสัตว์ชนิดอื่นมา 2 ตัวอย่าง

? พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้แบบแฮบิชูเอชันมีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์หรือไม่ อย่างไร

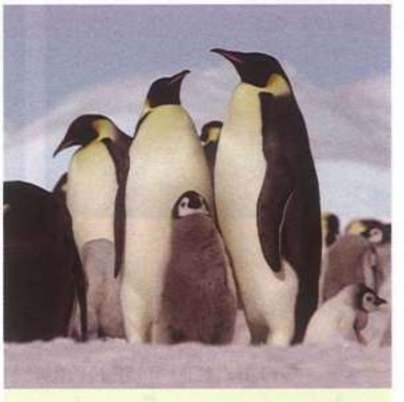
การฝังใจ

สัตว์แรกเกิดหรือสัตว์ที่มีอายุน้อยเรียนรู้ที่จะสร้างความผูกพันกับแม่หรือสัตว์ที่มีอายุมากกว่า พฤติกรรมแบบนี้จะช่วยให้ลูกได้รับประโยชน์ในเรื่องความคุ้มครองจากอันตรายต่าง ๆ ได้รับอาหาร และเรียนรู้พฤติกรรมการสืบพันธุ์ที่ถูกต้องในอนาคต ในปี พ.ศ. 2478 คอนราด ลอเรนซ์ (Konrad Lorenz) พบว่าลูกห่านที่ฟักออกจากไข่จะเดินตามเขาซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดแรกที่ลูกห่านเห็นและจะติดตามเขาไปทุกหนแห่ง ดังรูป 22.8 และเมื่อเขาลองใช้วัตถุอื่นแทนตัวเขา เช่น กล่องสี่เหลี่ยมที่มีล้อเลื่อน หรือหุ่นเป็ดที่มีล้อเลื่อน ลูกห่านก็จะเดินตามวัตถุนั้นเช่นเดียวกัน เรียกพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้นี้ว่า **การฝังใจ** (imprinting) เป็นพฤติกรรมที่ส่วนใหญ่มักเกิดในช่วงต้นของชีวิต เกิดในช่วงเวลาจำกัดช่วงหนึ่งที่เรียกว่า**ระยะวิกฤติ** (critical period) เช่น ลูกห่านมีระยะวิกฤติภายใน 36 ชั่วโมงหลังฟักออกจากไข่ ถ้าพ้นระยะวิกฤติอาจไม่แสดงพฤติกรรมนี้ ประสบการณ์ช่วงต้นของชีวิตที่สัตว์ได้รับจากพฤติกรรมนี้จะมีบทบาทในการกำหนดพฤติกรรมเมื่อสัตว์เติบโตในภายหลัง



รูป 22.8 ลูกห่านที่เดินตามลอเรนซ์

การฝังใจยังพบได้ในสัตว์ตัวเต็มวัยในบางกรณี เช่น นกเพนกวินจักรพรรดิเพศผู้สามารถจดจำเสียงร้องของลูกตนได้หลังจากฟักออกจากไข่และช่วยเพศเมียเลี้ยงลูก ดังรูป 22.9 เนื่องจากนกชนิดนี้จะอยู่รวมกันเป็นฝูงขนาดใหญ่ในช่วงฤดูผสมพันธุ์และทำรังวางไข่ซึ่งพบลูกนกเกิดใหม่จากพ่อแม่นกคู่อื่นหลายคู่ นกเพศผู้จึงจำเป็นต้องแยกแยะลูกของตนได้อย่างถูกต้อง จึงจะสามารถเลี้ยงลูกของตนได้



รูป 22.9 นกเพนกวินจักรพรรดิ

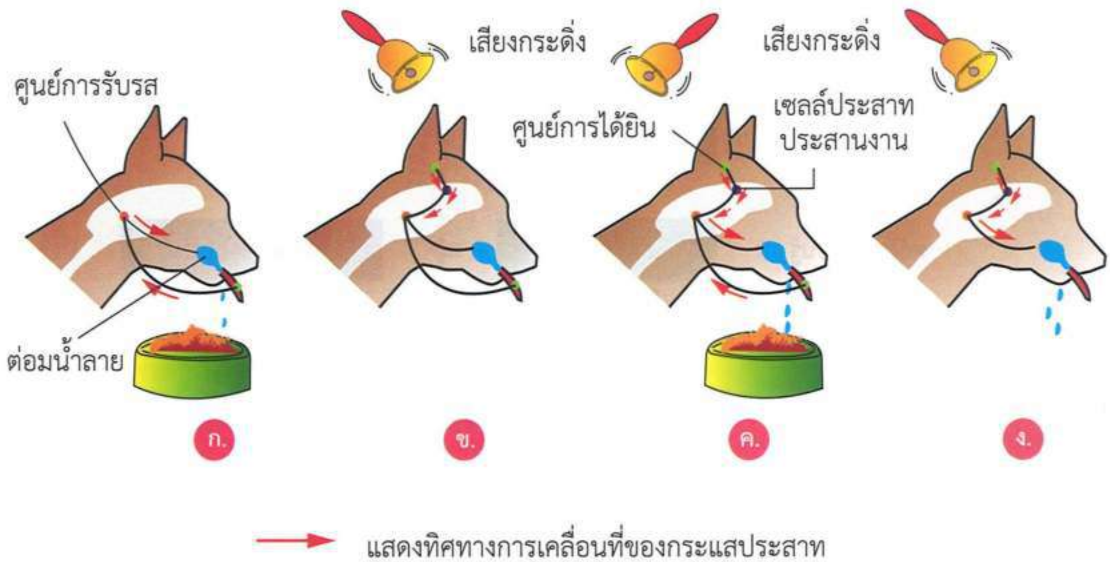
? ยกตัวอย่างพฤติกรรมการฝังใจที่พบในสัตว์ชนิดอื่นมา 2 ตัวอย่าง

? พฤติกรรมการฝังใจมีประโยชน์ต่อสัตว์อย่างไร

การเชื่อมโยง

การเชื่อมโยง (associative learning) เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นหลังจากสัตว์ได้รับสิ่งเร้าที่ทำให้เกิดการตอบสนองแบบเดิมหลายครั้งซึ่งจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงสิ่งเร้ากับสิ่งต่าง ๆ ได้ การเชื่อมโยงมี 2 แบบ คือ

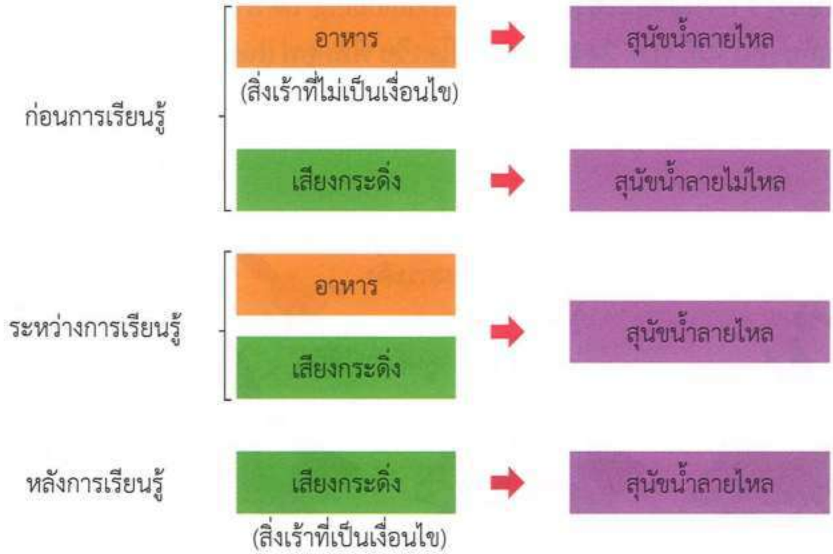
แบบที่ 1 การมีเงื่อนไข (classical conditioning) สัตว์เรียนรู้ที่จะเชื่อมโยงสิ่งเร้า 2 ชนิด ที่ได้รับมาพร้อมกัน เช่น ในปี พ.ศ. 2446 อีวาน เปโตรวิช พัฟลอฟ (Ivan Petrovich Pavlov) ได้ทดลองสั่นกระดิ่งทุกครั้งที่ให้อาหารสุนัข จนสุนัขน้ำลายไหลได้เมื่อได้ยินเสียงกระดิ่งแม้จะไม่เห็นอาหารก็ตาม ดังรูป 22.10



ipst.me/10801

รูป 22.10 การทดลองของพัฟลอฟ
ก. เมื่อเห็นอาหาร สุนัขน้ำลายไหล
ข. เมื่อสั่นกระดิ่งแต่ไม่ให้อาหาร สุนัขน้ำลายไม่ไหล
ค. เมื่อสั่นกระดิ่งและให้อาหาร สุนัขน้ำลายไหล
ง. เมื่อสั่นกระดิ่งแต่ไม่ให้อาหาร สุนัขน้ำลายไหล

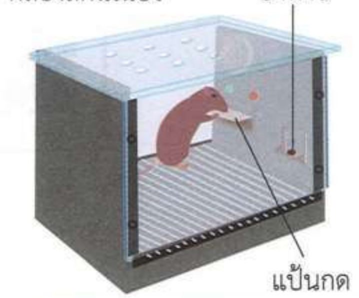
สุนัขได้รับสิ่งเร้า คือ อาหาร จึงแสดงพฤติกรรมน้ำลายไหลตามธรรมชาติ เรียกอาหารหรือสิ่งเร้านี้ว่า **สิ่งเร้าที่ไม่เป็นเงื่อนไข** (unconditioned stimulus) ส่วนเสียงกระดิ่งโดยปกติสุนัขจะไม่ตอบสนอง แต่เมื่อได้รับการฝึกให้ได้ยินเสียงกระดิ่งพร้อมกับการให้อาหารหรือก่อนให้อาหาร สุนัขจะนำเสียงกระดิ่งไปเชื่อมโยงกับอาหาร เมื่อสุนัขได้ยินเสียงกระดิ่งจึงน้ำลายไหล แม้จะยังไม่เห็นอาหาร เสียงกระดิ่งจึงเป็น**สิ่งเร้าที่เป็นเงื่อนไข** (conditioned stimulus) ดังรูป 22.11



รูป 22.11 แผนภาพแสดงพฤติกรรมการเชื่อมโยงแบบการมีเงื่อนไข

แบบที่ 2 การลองผิดลองถูก (trial and error หรือ operant conditioning) เป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ว่าการกระทำแบบใดจะเกิดผลดี แบบใดจะเกิดผลเสีย แล้วเลือกแสดงแต่พฤติกรรมที่จะเกิดผลดีหรือให้ประโยชน์ และพยายามหลีกเลี่ยงสิ่งที่ให้โทษ ในปี พ.ศ. 2481 เบอรัส เฟรเดอริก สกินเนอร์ (Burrhus Frederic Skinner) ได้ทดลองให้หนูแรท (rat) เข้าไปอยู่ในกล่องสกินเนอร์ (Skinner box) ที่มีแป้นกดเพื่อให้อาหารตกลงมา ในระยะแรกของการทดลอง หนูยังเชื่อมโยงระหว่างแป้นกดกับอาหารไม่ได้ หนูจะเคลื่อนที่ไปมาจนมีบางครั้งที่บังเอิญไปเหยียบแป้นกด ทำให้อาหารตกลงมา หลังจากเกิดแบบเดิมซ้ำอีก หนูจึงเรียนรู้ที่จะเชื่อมโยงแป้นกดกับอาหารเข้าด้วยกัน และจะเหยียบแป้นกดเมื่อต้องการอาหารอีก ดังรูป 22.12

ipst.me/10802



รูป 22.12 การทดลองของสกินเนอร์

พฤติกรรมการเชื่อมโยงแบบการลองผิดลองถูกสามารถสรุปได้ ดังรูป 22.13 เมื่อเริ่มต้นสัตว์อาจแสดงทั้ง 3 พฤติกรรม แต่เมื่อแสดงพฤติกรรมที่ 2 โดยบังเอิญสัตว์จะได้รับอาหาร ต่อมาสัตว์อาจแสดงพฤติกรรมอีกหลายครั้ง แต่ทุกครั้งที่แสดงพฤติกรรมที่ 2 จะได้รับอาหาร จึงเกิดการเรียนรู้ที่จะเชื่อมโยงการแสดงพฤติกรรมที่ 2 กับอาหาร เมื่อเวลาผ่านไปสัตว์จะลดหรือไม่แสดงพฤติกรรมที่ 1 และ 3 แต่จะแสดงพฤติกรรมที่ 2 เท่านั้นเพราะได้รับอาหาร



รูป 22.13 แผนภาพแสดงพฤติกรรมการเชื่อมโยงแบบการลองผิดลองถูก

นอกจากสัตว์จะเรียนรู้เชื่อมโยงในสิ่งที่เป็นประโยชน์แล้วสัตว์ยังเชื่อมโยงสิ่งที่เป็นอันตรายหรือโทษได้อีกด้วย ดังนั้นสัตว์จึงเรียนรู้ที่จะไม่แสดงพฤติกรรมที่เป็นโทษหรือไม่ได้รับรางวัลและเพิ่มความถี่ของการแสดงพฤติกรรมที่เป็นประโยชน์หรือได้รับรางวัล อย่างไรก็ตามการที่สัตว์ได้รางวัลหรือได้รับโทษในครั้งแรกเป็นความบังเอิญและสัตว์เกิดการเรียนรู้ที่จะเชื่อมโยงในครั้งต่อ ๆ ไป

? ยกตัวอย่างพฤติกรรมการเชื่อมโยงที่พบในสัตว์ชนิดอื่นมา 2 ตัวอย่าง

? พฤติกรรมการลองผิดลองถูกมีประโยชน์ต่อสัตว์อย่างไร

ตรวจสอบความเข้าใจ

ในปี พ.ศ. 2560 ฟรานเชสกา โซลดาติ (Francesca Soldati) และคณะ ได้ทดสอบพฤติกรรมการเลือกกินอาหารของเต่าตีนแดง (*Chelonoidis carbonaria*) ทีมวิจัยได้ฝึกเต่าสปีชีส์นี้โดยใช้อาหาร 2 ชนิดที่แตกต่างกันในเรื่องคุณภาพและปริมาณ ซึ่งอาหารชนิดที่คุณภาพสูงกว่าจะให้พลังงานสูงกว่า โดยใช้แผ่นพลาสติกสีต่างกัน 2 สีเป็นตัวแทนความแตกต่างของอาหาร ทำการฝึกเต่าให้เลือกแผ่นพลาสติก เมื่อเต่าคลานเข้าหาพลาสติกสีใด เต่าจะได้รับอาหารตามข้อมูลสีของแผ่นพลาสติก เมื่อผ่านการฝึก 90 ครั้ง พบว่าเต่าจะคลานเข้าหาแผ่นพลาสติกสีที่เชื่อมโยงกับอาหารที่มีคุณภาพสูงและมีปริมาณมากเป็นส่วนใหญ่ แล้วทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง หลังจากผ่านไป 18 เดือน เต่ายังคงมีพฤติกรรมเลือกแผ่นพลาสติกสีที่เชื่อมโยงกับอาหารที่มีคุณภาพสูงและมีปริมาณมากอยู่เช่นเดิม แสดงให้เห็นว่าเต่าสามารถจดจำสิ่งที่เรียนรู้ในระยะยาวได้

? การเลือกกินอาหารของเต่าตีนแดงเป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้แบบใด เพราะเหตุใด

สัตว์จะเรียนรู้แบบการลองผิดลองถูกโดยใช้เวลาในการแสดงพฤติกรรมที่ถูกต้องแตกต่างกันซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาจากการทำกิจกรรม 22.2

กิจกรรม 22.2 การลองผิดลองถูก

จุดประสงค์

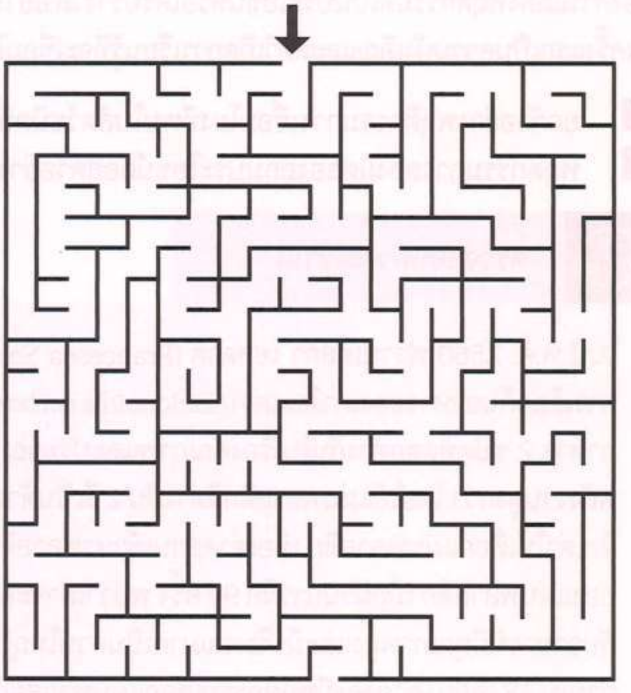
อธิบายพฤติกรรมการเชื่อมโยงแบบการลองผิดลองถูก

วัสดุและอุปกรณ์

1. รูปแสดงทางวกวน
2. ดินสอหรือปากกาเขียนแผ่นใส
3. กระดาษไขหรือแผ่นพลาสติกใส

วิธีการทดลอง

1. นำกระดาษไขหรือแผ่นพลาสติกใสวางทาบบนรูป
2. ใช้ดินสอหรือปากกาเขียนแผ่นใสลากจากจุดเริ่มต้นไปจนถึงปลายทาง โดยให้นักเรียนอีกคนหนึ่งจับเวลา
3. ทำซ้ำข้อ 2 อีกประมาณ 3-5 ครั้ง บันทึกเวลาที่ใช้แต่ละครั้ง



คำถามท้ายกิจกรรม

- วิธีการหรือเวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมนี้ในครั้งแรกและครั้งต่อ ๆ มาแตกต่างกันอย่างไร
- กิจกรรมนี้ได้ข้อสรุปอย่างไร

การใช้เหตุผล

การใช้เหตุผล (reasoning) เป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ขั้นสูง สัตว์ที่จะแสดงพฤติกรรมแบบนี้จะมีสมองเจริญดี สามารถตอบสนองในรูปแบบใหม่ที่ไม่ใช่มาจากการลองผิดลองถูก เป็นการนำประสบการณ์ที่มีอยู่มาปรับให้สอดคล้องเพื่อแก้ปัญหาใหม่ รวมทั้งสามารถสร้างแนวคิดและเหตุผลได้ การศึกษาพฤติกรรมนี้จึงมักทดลองกับสัตว์ที่มีระบบประสาทค่อนข้างเจริญดี โดยเฉพาะสมองส่วนเซรีบรัม เช่น สุนัข ชิมแปนซี เป็นต้น

เมื่อให้ชิมแปนซีเข้าไปอยู่ในห้องปิดที่มีกล้วยแขวนบนเพดาน และมีกล่องขนาดต่าง ๆ วางอยู่บนพื้น ชิมแปนซีสามารถใช้กล่องขนาดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในห้องมาต่อกันได้สูงเพียงพอที่จะปีนขึ้นไปหยิบกล้วยที่แขวนบนเพดานมากินได้ ดังรูป 22.14 ตัวอย่างอื่น ๆ เช่น ลิงแสมใช้หินเป็นเครื่องมือในการกะเทาะเปลือกหอยนางรม ลิงแสมญี่ปุ่นเรียนรู้ที่จะล้างเมล็ดพืชเพื่อนำทรายออก หรือนกหัวขวานสามารถใช้กิ่งไม้ ก้านใบ หรือหนามกระบองเพชรมาเป็นเครื่องมือในการนำแมลงออกมาจากรูในต้นไม้เพื่อกินเป็นอาหารได้



รูป 22.14 พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้แบบการใช้เหตุผลของชิมแปนซี

- ? ยกตัวอย่างพฤติกรรมการใช้เหตุผลที่พบในสัตว์ชนิดอื่นมา 2 ตัวอย่าง
- ? พฤติกรรมการใช้เหตุผลมีประโยชน์ต่อสัตว์อย่างไร
- ? ระบบประสาทเกี่ยวข้องกับการแสดงพฤติกรรมการใช้เหตุผลอย่างไร

พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้มีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับไปตามประสบการณ์ได้ จึงเป็นพฤติกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อสัตว์อายุยืนที่ต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป

ตรวจสอบความเข้าใจ

? พฤติกรรมต่อไปนี้จัดเป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้แบบใด เพราะเหตุใด

- สัตว์เลี้ยงแสดงพฤติกรรมที่เจ้าของฝึกเพื่อขออาหารจากเจ้าของ
- สุนัขจะเห่าทุกครั้งที่มีคนแปลกหน้าเข้ามาในบริเวณบ้าน แต่เมื่อคนนั้นเข้าบ้านมาบ่อย ๆ สุนัขจะเห่าน้อยลง
- หนูใช้เวลาน้อยลงในการเดินไปกินอาหารที่วางอยู่ไกลออกไปในเส้นทางวกวน
- นกคู้ตอเมริกันเพศเมียตัวเต็มวัยสามารถแยกแยะลูกนกที่ฟักไข่ออกมาได้ทันที จากลูกนกที่เป็นกาฝากได้
- นกติ๊ดสีน้ำเงินที่อาศัยอยู่ในเขตเมือง ลดพฤติกรรมการระวังภัยลงเมื่อพบมนุษย์ และจะเข้ามากินอาหารบนมือของมนุษย์
- อุรังอุตัง ชิมแปนซี และกอริลลา สามารถแก้ปัญหาได้เมื่อนำถั่วใส่ในกระบอกทรงสูงที่ยึดติดกับพื้น สัตว์ไม่สามารถใช้นิ้วหรือมือหยิบได้ จึงอมน้ำมาพ่นลงในกระบอกเพื่อให้ถั่วลอยขึ้นมา สัตว์จึงสามารถหยิบถั่วได้

22.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมและวิวัฒนาการของระบบประสาท

สัตว์แต่ละชนิดอาจตอบสนองต่อสิ่งเร้าชนิดเดียวกันในรูปแบบที่แตกต่างกัน สัตว์บางชนิดแสดงพฤติกรรมเป็นแบบแผนที่เรียบง่ายเพื่อความอยู่รอดหรือหลบหลีกอันตราย สัตว์บางชนิดสามารถแสดงพฤติกรรมการเรียนรู้ที่ซับซ้อนได้ดี เช่น การใช้เหตุผล มนุษย์แสดงพฤติกรรมที่ซับซ้อนได้มากกว่าสัตว์ชนิดอื่นซึ่งเป็นผลมาจากวิวัฒนาการของระบบประสาท ดังตาราง 22.1

ตาราง 22.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวิวัฒนาการของระบบประสาทและพฤติกรรมของสัตว์

ชนิดสิ่งมีชีวิต	ระบบประสาท	พฤติกรรมที่สำคัญ
มนุษย์	สมองส่วนหน้าเจริญดี	มีการใช้เหตุผลที่ซับซ้อน
สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมและนก	สมองส่วนหน้าเจริญขึ้น สมองส่วนกลางลดขนาดลง	มีการเรียนรู้ที่ซับซ้อน มีการใช้เหตุผลในบางกลุ่ม
สัตว์มีกระดูกสันหลังบางกลุ่ม (ปลา สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก สัตว์เลื้อยคลาน)	สมองส่วนหน้ายังไม่พัฒนามาก	มีการเรียนรู้แบบง่าย
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง	ไม่มีสมองที่แท้จริง ระบบประสาทไม่ซับซ้อน มีปมประสาทอยู่บ้าง เซลล์ประสาทต่อกันเป็นร่างแห	มีพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด รีเฟล็กซ์และรีเฟล็กซ์ต่อเนื่อง
โพรโทซัว	ไม่มีระบบประสาท	มีพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด โอเรียนเทชัน

จะเห็นได้ว่าสัตว์ที่มีระบบประสาทเจริญดีจะมีพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ที่ซับซ้อน ส่วนสัตว์ที่มีระบบประสาทเจริญไม่มากนัก จะแสดงพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดหรือพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ที่ไม่ซับซ้อน พฤติกรรมการใช้เหตุผลส่วนใหญ่จะพบได้ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม แต่จะพบในสัตว์กลุ่มอื่นได้บ้างขึ้นอยู่กับวิวัฒนาการของระบบประสาท

กิจกรรมเสนอแนะ : การศึกษาพฤติกรรมของสัตว์บางชนิด

จุดประสงค์

บันทึกและอธิบายพฤติกรรมของสัตว์ที่เลือกศึกษา

วัสดุและอุปกรณ์

1. สมุดบันทึก
2. ปากกาหรือดินสอ
3. กระดาษโปสเตอร์
4. กล้องถ่ายรูปหรือโทรศัพท์มือถือ

วิธีการทำกิจกรรม

1. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มหรือรายบุคคลเลือกศึกษาพฤติกรรมของสัตว์ที่สนใจ สืบค้นข้อมูลทางชีววิทยาของสัตว์สปีชีส์นั้นจากอินเทอร์เน็ต
2. ออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล และจดบันทึกพฤติกรรมของสัตว์นั้น ร่วมกับข้อมูลอื่น เช่น ความถี่ของการแสดงออกของพฤติกรรม ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละพฤติกรรมในช่วงเวลาที่สังเกต สามารถใช้กล้องถ่ายรูปหรือโทรศัพท์มือถือบันทึกภาพของสัตว์เพื่อประกอบการนำเสนอข้อมูล
3. ออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง และบันทึกผลการสังเกต นำข้อมูลจากการศึกษามาเขียนแผนภูมิหรือตารางตามความเหมาะสม
4. นำเสนอผลการศึกษาและร่วมกันอภิปรายผลการศึกษา

คำถามท้ายกิจกรรม

? พฤติกรรมของสัตว์ที่นักเรียนบันทึกได้มีอะไรบ้าง

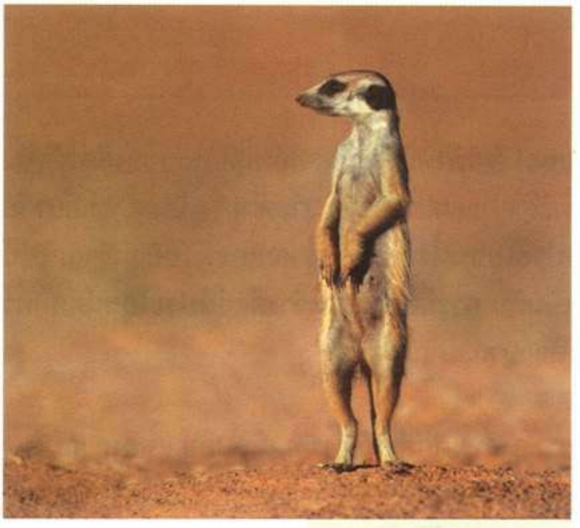
22.5 การสื่อสารระหว่างสัตว์

การสื่อสารเป็นกระบวนการที่พฤติกรรมของสัตว์ตัวหนึ่งไปมีผลต่อพฤติกรรมของสัตว์ตัวอื่น เป็นการถ่ายทอดข่าวสารในรูปสัญญาณระหว่างผู้ส่งสัญญาณและผู้รับสัญญาณซึ่งอาจเป็นสปีชีส์เดียวกันหรือต่างสปีชีส์ก็ได้ การสื่อสารนี้พัฒนาขึ้นเพื่อประโยชน์ทั้งผู้ส่งสัญญาณและผู้รับสัญญาณ เช่น สื่อสารด้วยเสียง ท่าทาง การสัมผัส และสารเคมี เป็นต้น **การสื่อสารระหว่างสัตว์มีประโยชน์ต่อสัตว์อย่างไร และเพราะเหตุใดสัตว์ต่างชนิดกันจึงส่งสัญญาณแตกต่างกัน**

สัตว์จะส่งสัญญาณเพื่อสื่อสารด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น เตือนภัย แสดงอาณาเขต บอกแหล่งอาหาร เรียกคู่ผสมพันธุ์ รวมกลุ่มหรือบอกความขัดแย้งซึ่งจะนำมาสู่การต่อสู้แข่งขัน เช่น การแย่งเพศเมียในการผสมพันธุ์ สัตว์ที่เป็นผู้ส่งสัญญาณและผู้รับสัญญาณต้องมีพัฒนาการของอวัยวะที่สามารถส่งสัญญาณเพื่อสื่อสารและอวัยวะรับความรู้สึกเพื่อรับสัญญาณรูปแบบต่าง ๆ ที่สัตว์ตัวอื่นส่งสัญญาณมาให้ได้ นอกจากนี้สัตว์สามารถสื่อสารกันได้อย่างมีประสิทธิภาพตามลักษณะแหล่งที่อยู่ของสัตว์ เช่น สัตว์ที่อยู่ในเขตป่าหนาทึบจะใช้เสียงในการสื่อสาร โดยคลื่นเสียงจะแทรกผ่านสิ่งกีดขวางจนไปถึงผู้รับสัญญาณได้ สิ่งเหล่านี้จะกำหนดรูปแบบสัญญาณและขอบเขตในการสื่อสารของสัตว์

22.5.1 การสื่อสารด้วยเสียง

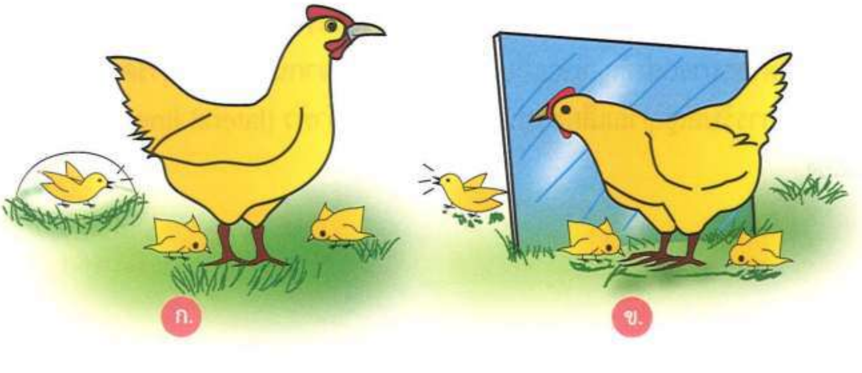
การสื่อสารด้วยเสียง (auditory communication) สัตว์ที่สื่อสารด้วยเสียงได้จะมีกล่องเสียงและสายเสียงที่ทำให้เกิดเสียงหรือมีการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่ทำให้เกิดเสียง เช่น การสีปีกให้เกิดเสียงของจิ้งหรีด ทำให้สัตว์สามารถส่งสัญญาณเสียงออกไปได้ นอกจากนี้สัตว์ที่สื่อสารด้วยเสียงต้องมีโครงสร้างหรืออวัยวะที่ไวต่อการรับสัญญาณเสียง เช่น ปลามีเส้นข้างลำตัว (lateral line) สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมมีหูรับคลื่นเสียง



รูป 22.15 เมียร์แคต

เมียร์แคต (meerkat) สามารถยืน 2 ขา เพื่อสังเกตและระวังภัยให้กับกลุ่ม เมื่อพบภัยคุกคามจะส่งสัญญาณเสียงเตือนภัยให้กลุ่ม ดังรูป 22.15 ตัวอย่างอื่น ๆ เช่น สุนัขป่าหอนบ่งบอกเขตแดน ชะนีเพศผู้ร้องบ่งบอกเขตแดน สิงโตคำรามขู่สิงโตตัวอื่น การร้องเรียกคู่ของกบเพศผู้

บางกรณีการสื่อสารด้วยภาพหรือท่าทางจะกระตุ้นให้สัตว์ตอบสนองได้น้อยกว่าเสียง เช่น เมื่อให้แม่ไก่เห็นลูกไก่ในครอบแก้วแต่ไม่ได้ยินเสียงร้อง กับการที่แม่ไก่ไม่เห็นลูกไก่แต่ได้ยินเสียงร้อง พบว่าแม่ไก่ตอบสนองต่อเสียงร้องมากกว่าและพยายามค้นหาตำแหน่งของลูกไก่ ดังรูป 22.16



รูป 22.16 การแสดงพฤติกรรมของแม่ไก่
ก. ขณะลูกไก่อยู่ในครอบแก้ว ข. ขณะลูกไก่อยู่นอกครอบแก้วแต่มีฉากกั้น

? การสื่อสารด้วยเสียงมีข้อดีและข้อจำกัดอย่างไร

22.5.2 การสื่อสารด้วยท่าทาง

การสื่อสารด้วยท่าทาง (visual communication) เป็นการสื่อสารของสัตว์ที่สามารถสื่อความหมายได้ชัดเจน เช่น การเกี้ยวพาราสี การแสดงท่าทางเพื่อข่มขู่ศัตรูหรือเพื่อปกป้องอาณาเขต แต่การแสดงท่าทางอาจเกิดจากการเรียนรู้และทำเพื่อประโยชน์บางประการ เช่น แสดงท่าทางเพื่อแลกกับรางวัลที่เป็นอาหาร การสื่อสารด้วยท่าทางสามารถทำได้ทั้งในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีระบบประสาทไม่ซับซ้อนและสัตว์มีกระดูกสันหลังที่มีระบบประสาทพัฒนาดี และสัตว์มักมีโครงสร้างของร่างกายที่ใช้สื่อสารเฉพาะ เช่น ครีบหรือแผงคอขนาดใหญ่ ขนที่มีสีสันสวยงาม

การสื่อสารด้วยท่าทางอาจเป็นท่าทางที่ง่าย เช่น ลูกนกอ้าปากกว้างเพื่อขออาหารจากพ่อแม่ ดังรูป 22.17 ก. หรือเป็นท่าทางที่ซับซ้อนต่อเนื่อง เช่น การรำแพนหางของนกยูงเพื่อแสดงความพร้อมในการผสมพันธุ์ ดังรูป 22.17 ข.



ก.



ข.

รูป 22.17 การสื่อสารด้วยท่าทาง
ก. การขออาหารของลูกนก ข. การรำแพนหางของนกยูงเพศผู้

ตัวอย่างอื่น ๆ เช่น การขยับปีกขึ้นลงและถูขาตัวเองของแมลงวันเพศผู้เพื่อเกี้ยวพาราสีก่อนที่จะผสมพันธุ์ การแยกเขี้ยวของแมวเพื่อข่มขู่ศัตรู การกระดิกหางของสุนัขเพื่อแสดงการต้อนรับและการลดหางลงเพื่อแสดงความกลัว

? การสื่อสารด้วยท่าทางมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์อย่างไร

22.5.3 การสื่อสารด้วยการสัมผัส

การสื่อสารด้วยการสัมผัส (tactile communication) จะมีความสำคัญในสัตว์ที่อาศัยรวมกันเป็นกลุ่มหรือสังคม มักจะใช้ได้ผลในระยะใกล้ การสัมผัสมีความสำคัญอย่างยิ่งในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม มักใช้ในการสร้างความสัมพันธ์กับสัตว์ตัวอื่น เช่น สุนัขจะเข้าไปเลียปากให้กับสุนัขที่มีลำดับชั้นทางสังคมเหนือกว่า ชิมแปนซีจะยื่นมือให้ชิมแปนซีที่มีลำดับชั้นทางสังคมเหนือกว่าจับในลักษณะหงายมือ

? การสื่อสารด้วยการสัมผัสมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์อย่างไร

รู้หรือไม่

สัตว์บางสปีชีส์ที่อยู่รวมกันเป็นฝูงมีการแบ่งลำดับชั้นทางสังคม (social hierarchy) เช่น ลิงตัวที่เป็นจ่าฝูงเพศผู้จะอยู่ในลำดับชั้นทางสังคมสูงสุด และมีโอกาสเข้าถึงอาหารหรือสืบพันธุ์กับเพศเมียภายในฝูงได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสมาชิกตัวอื่นในฝูงที่มีลำดับชั้นต่ำกว่า

กรณีศึกษา

แฮรี เอฟ ฮาร์โลว์ (Harry F. Harlow) ศึกษาพฤติกรรมของลูกลิงรีซัส โดยสร้างหุ่นแม่ลิง 2 ตัว ซึ่งทำด้วยไม้และลวดตาข่าย หุ่นตัวหนึ่งมีผ้าหนานุ่มห่อหุ้มไว้ ส่วนหุ่นอีกตัวไม่มีผ้าห่อหุ้ม หุ่นแต่ละตัวมีขวดนมวางไว้ตรงบริเวณอก พบว่าลูกลิงมักเข้าไปซบหุ่นแม่ลิงที่มีผ้าห่อหุ้มมากกว่าหุ่นแม่ลิงที่ไม่มีผ้าห่อหุ้ม และพบว่าลูกลิงที่ไม่ได้รับการเลี้ยงดูจากแม่ลิงหรือหุ่นแม่ลิงที่ทำด้วยผ้าจะไม่สามารถปรับตัวหรือผูกมิตรกับลิงตัวอื่นได้และมักตกใจกลัวเมื่อนำลูกลิงตัวอื่นไปใส่ไว้ในกรงเดียวกัน



? เพราะเหตุใดลูกลิงจึงมักเข้าไปซบหุ่นแม่ลิงที่มีผ้าห่อหุ้มมากกว่าหุ่นแม่ลิงที่ไม่มีผ้าห่อหุ้ม

22.5.4 การสื่อสารด้วยสารเคมี

สัตว์หลายสปีชีส์มี**การสื่อสารด้วยสารเคมี** (chemical communication) โดยสร้างสารเคมีที่ผลิตจากต่อมมีท่อที่สร้างออกมาซึ่งจะไม่มีผลต่อร่างกายของตนเอง แต่มีผลต่อสัตว์ตัวอื่นที่เป็นสปีชีส์เดียวกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระและพฤติกรรม สารนี้เรียกว่า **ฟีโรโมน** (pheromone) สัตว์รับฟีโรโมนได้ 3 ทาง ได้แก่ การได้รับกลิ่น การกิน และการสัมผัส ฟีโรโมนจะสื่อสารให้เข้าใจตรงกันได้ในสัตว์สปีชีส์เดียวกันเพราะผู้รับสัญญาณต้องมีอวัยวะหรือหน่วยรับเฉพาะที่สามารถรับรู้ได้

การได้รับฟีโรโมนทางกลิ่นส่วนมากเพื่อการดึงดูดเพศตรงข้าม ซึ่งสร้างได้ทั้งเพศผู้และเพศเมียขึ้นอยู่กับสปีชีส์ของสัตว์ เช่น แมลงวันทองเพศเมียปล่อยฟีโรโมนเรียกเพศผู้มาผสมพันธุ์ หนูเพศผู้ปล่อยฟีโรโมนกระตุ้นวงจรการสืบพันธุ์ของหนูเพศเมีย มดสามารถเดินตามกันเป็นแถวได้โดยมดตัวแรกปล่อยฟีโรโมนตามทางเดินและมดตัวอื่น ๆ จะปล่อยฟีโรโมนตามทางด้วย จึงสามารถเดินตามกันไปที่แหล่งอาหารได้โดยไม่หลงทาง ดังรูป 22.18 นอกจากนี้ฟีโรโมนยังใช้เตือนภัยได้ เช่น ผึ้งที่อยู่ปากรังจะคอยระวังอันตรายเมื่อมีศัตรูแปลกปลอมเข้ามาจะปล่อยฟีโรโมนเตือนภัยให้พวกเดียวกันรู้ และบินออกมารุมต่อยศัตรูทันที ส่วนสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม เช่น ชะมดที่มีกลิ่นตัวแรง กลิ่นนี้สร้างจากต่อมใกล้อวัยวะสืบพันธุ์ที่ปล่อยออกมาจากทั้งเพศผู้และเพศเมีย เพื่อบอกอาณาเขต

การรับฟีโรโมนโดยการกิน เช่น ผึ้งราชินีจะผลิตสารเคมีชนิดหนึ่งที่ต่อมบริเวณรยางค์ปาก เมื่อผึ้งงานซึ่งเป็นเพศเมียกินเข้าไป สารนี้จะเข้าไปยับยั้งการเจริญของระบบสืบพันธุ์และการผลิตไข่ ทำให้ผึ้งงานเป็นหมัน

การรับฟีโรโมนโดยการสัมผัส พบในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น แมลงสาบและแมงมุมบางชนิด เพศเมียจะปล่อยฟีโรโมนทิ้งไว้ เมื่อเพศผู้มาสัมผัส สารนี้จะซึมผ่านเข้าไปกระตุ้นให้เพศผู้เกิดความต้องการทางเพศและติดตามเพศเมียไปเพื่อผสมพันธุ์ ในตั๊กแตนเพศผู้จะปล่อยฟีโรโมนทิ้งไว้หลังการผสมพันธุ์ เมื่อตัวอ่อนของตั๊กแตนมาสัมผัส ก็จะกระตุ้นให้ตัวอ่อนเติบโตและสืบพันธุ์ได้



รูป 22.18 การเดินเป็นแถวของมด

ฟีโรโมนบางชนิดอาจกระตุ้นให้แสดงพฤติกรรมทันที เช่น ส่งสัญญาณเตือนภัย ดึงดูดเพศตรงข้าม หรือบางชนิดอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระในระยะยาวอย่างค่อยเป็นค่อยไป ควบคุมการเจริญของระบบสืบพันธุ์ กระตุ้นการเจริญเติบโต เช่น ฟีโรโมนที่ปลาม้าลายเพศผู้ปล่อยออกมาแล้วกระตุ้นให้เพศเมียเกิดการตกไข่ ฟีโรโมนที่แมลงเพศเมียบางชนิดปล่อยออกมาเพื่อกระตุ้นให้ลูกสร้างฮอร์โมนที่ช่วยให้เกิดการลอกคราบ เป็นต้น

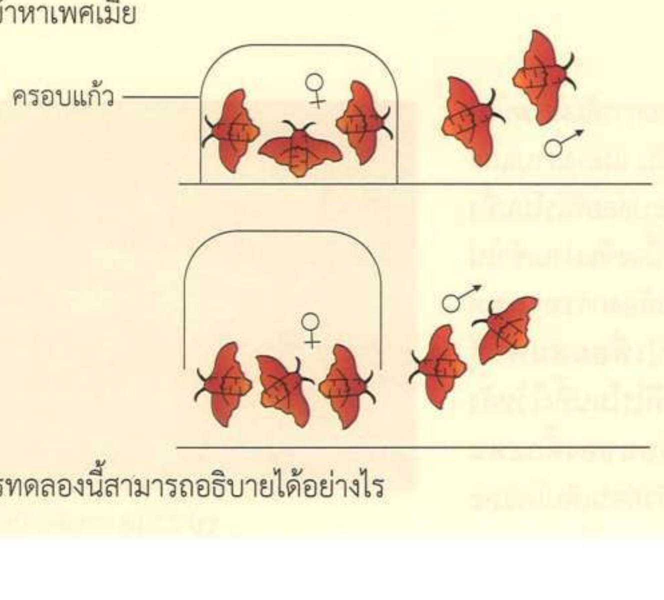
การสื่อสารโดยใช้ฟีโรโมนมีข้อจำกัดคือ เมื่อส่งสัญญาณออกไปแล้วจะปรับเปลี่ยนสัญญาณได้ยาก จึงต้องสื่อสารข้อมูลเดียวซึ่งมีความหมายค่อนข้างคงที่ เช่น ดึงดูดเพศตรงข้ามมาผสมพันธุ์

? การสื่อสารด้วยฟีโรโมนมีความสำคัญต่อสัตว์อย่างไร

? ฟีโรโมนเหมือนหรือต่างจากฮอร์โมนอย่างไร

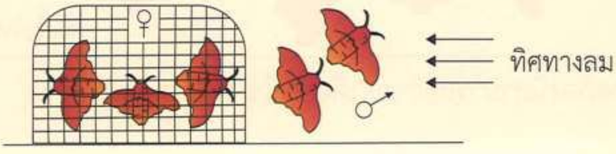
กรณีศึกษา

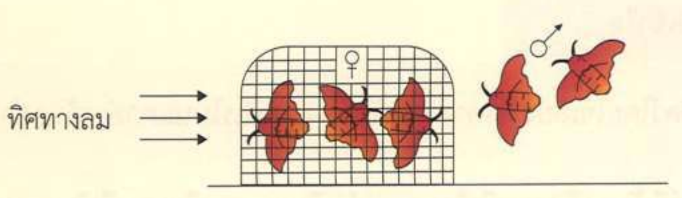
ในการทดลองเกี่ยวกับการสื่อสารของผีเสื้อไหม โดยแยกผีเสื้อไหมเพศผู้และเพศเมียออกจากกัน แล้วนำกลุ่มผีเสื้อไหมเพศเมียมาวางในครอบแก้วและวางไว้ท่ามกลางกลุ่มผีเสื้อไหมเพศผู้ พบว่าเพศผู้ไม่สนใจเพศเมียทั้งที่มองเห็นกัน แต่เมื่อเปิดฝาครอบแก้วออกพบว่าเพศผู้ทุกตัวเคลื่อนที่เข้าหาเพศเมีย



? ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้อย่างไร

เมื่อนำกรงที่มีผีเสื้อไหมเพศเมียมาวางไว้ใต้ทิศทางลมที่เปิดพัดลมตลอดเวลา ปรากฏว่าผีเสื้อไหมเพศผู้ไม่มีปฏิกิริยาใด ๆ แต่ถ้าวางกรงผีเสื้อไหมเพศเมียไว้เหนือลม ผีเสื้อไหมเพศผู้จะเคลื่อนที่เข้าหาเพศเมีย





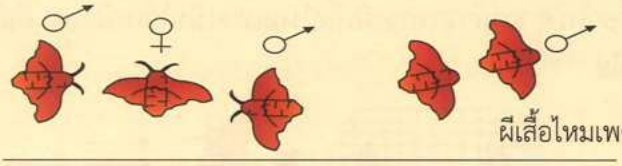
จากข้อมูลดังกล่าวเป็นไปได้หรือไม่ว่า การเคลื่อนที่เข้าหาของผีเสื้อไหมเพศผู้เนื่องจากได้รับรู้สารบางอย่างจากผีเสื้อไหมเพศเมีย

จากการศึกษาพบว่าผีเสื้อไหมเพศเมียสร้างสารเคมีจากต่อมบริเวณปล้องสุดท้ายของส่วนท้อง เพื่อดึงดูดให้ผีเสื้อไหมเพศผู้สนใจ เมื่อใช้กระดาษกรองไปแตะซับปล้องสุดท้ายของผีเสื้อไหมเพศเมียแล้วนำกระดาษกรองไปวางไว้ท่ามกลางผีเสื้อไหมเพศผู้ พบว่าผีเสื้อไหมเพศผู้เคลื่อนที่เข้าหากระดาษกรองทั้ง ๆ ที่ไม่มีผีเสื้อไหมเพศเมียอยู่เลย



? การทดลองนี้สรุปได้อย่างไร

เมื่อนำผีเสื้อไหมเพศเมียไปวางไว้ท่ามกลางผีเสื้อไหมเพศผู้ที่บางตัวถูกตัดหนวดออก พบว่า ผีเสื้อไหมเพศผู้ที่ไม่ถูกตัดหนวดเท่านั้นที่เคลื่อนที่เข้าหาผีเสื้อไหมเพศเมีย



? ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้อย่างไร

ตรวจสอบความเข้าใจ

? การสื่อสารระหว่างสัตว์โดยใช้เสียง ท่าทาง การสัมผัส และฟีโรโมนแตกต่างกันอย่างไร

พฤติกรรมของสัตว์มีทั้งพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดและพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ แต่บางครั้งการที่จะบอกว่าเป็นพฤติกรรมแบบใดเป็นเรื่องยาก เนื่องจากพฤติกรรมของสัตว์บางประเภทสามารถตีความได้หลากหลายรูปแบบและไม่สามารถแบ่งเป็นประเภทได้อย่างเฉพาะเจาะจง อย่างไรก็ดี พฤติกรรมเหล่านี้ย่อมควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นพื้นฐานและนำประสบการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตมาพัฒนาพฤติกรรมให้เกิดประโยชน์ในการดำรงชีวิตและเผ่าพันธุ์ มนุษย์ได้มีการศึกษาเพื่อให้เกิดความเข้าใจพฤติกรรมของสัตว์และนำมาซึ่งการอนุรักษ์สัตว์ เช่น การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ การปล่อยสัตว์ป่าที่เพาะเลี้ยงกลับคืนสู่ธรรมชาติ และหาวิธีการที่จะนำรูปแบบของพฤติกรรมของสัตว์มาใช้ให้เกิดประโยชน์กับมนุษย์หลายด้าน เช่น

- การอธิบายพฤติกรรมบางอย่างของมนุษย์ เช่น พฤติกรรมการดูแลลูก
- ด้านการเกษตร โดยการฝึกสัตว์เพื่อใช้ในการทำเกษตรกรรม การทำความเข้าใจพฤติกรรมการกินอาหารของสัตว์เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาอาหารสัตว์ การศึกษาพฤติกรรมของสัตว์บางประเภทเพื่อประโยชน์ในการควบคุมศัตรูพืช การใช้ฟีโรโมนล่อแมลงเพื่อประเมินการระบาดของแมลงศัตรูพืช
- ด้านอุตสาหกรรม เช่น สกัดสารจากต่อมของชะมดมาผลิตน้ำหอม
- ด้านการรักษาความปลอดภัย เช่น การฝึกสุนัขให้ดมสารระเบิดหรือสารเสพติด
- ด้านการคมนาคม โดยการฝึกสัตว์ชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นพาหนะ เช่น ม้า ลา ล่อ หรือใช้ขนส่งจดหมายหรือสิ่งของขนาดเล็ก เช่น นกพิราบสื่อสาร

ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมของสัตว์เป็นเรื่องท้าทายที่นักวิทยาศาสตร์จะเรียนรู้ได้ไม่สิ้นสุด

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. พฤติกรรมของสัตว์เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเร้าภายในและสิ่งเร้าภายนอกกับพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาของสัตว์
2. การศึกษาพฤติกรรมสามารถศึกษาในแนวพรอกซิเมตคอสหรือในแนวอัลทิเมตคอส
3. พฤติกรรมแบ่งเป็นพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดซึ่งพันธุกรรมมีบทบาทมากและพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ซึ่งสิ่งแวดล้อมหรือประสบการณ์จะมีบทบาทมากในการแสดงพฤติกรรม
4. พฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด ได้แก่ ฟิกซ์แอกชันแพทเทิร์น โอเรียนเทชัน รีเฟล็กซ์และรีเฟล็กซ์ต่อเนื่อง
5. พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้เป็นพฤติกรรมที่มีความซับซ้อน ถูกกำหนดโดยพันธุกรรมเป็นพื้นฐาน และมีประสบการณ์หรือสิ่งแวดล้อมเป็นตัวปรับพฤติกรรมให้ดำรงชีวิตในสิ่งแวดล้อมได้ดียิ่งขึ้น
6. พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้แบ่งเป็น แฮบิชูเอชัน การฝังใจ การเชื่อมโยง (การมีเงื่อนไขและการลองผิดลองถูก) และการใช้เหตุผล
7. สัตว์ที่มีวิวัฒนาการของระบบประสาทเจริญดีจะมีพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ที่ซับซ้อน ส่วนสัตว์ที่มีวิวัฒนาการของระบบประสาทเจริญไม่มากนัก มักแสดงพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดหรือพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ที่ไม่ซับซ้อน
8. การสื่อสารเป็นกระบวนการที่พฤติกรรมของสัตว์ตัวหนึ่งส่งผลต่อสัตว์ตัวอื่น เป็นการถ่ายทอดข่าวสารในรูปสัญญาณระหว่างผู้ส่งสัญญาณและผู้รับสัญญาณซึ่งอาจเป็นสปีชีส์เดียวกันหรือต่างสปีชีส์ก็ได้ เช่น สื่อสารด้วยเสียง ท่าทาง การสัมผัส และสารเคมี

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 22

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

...... 1.1 กลไกการเกิดพฤติกรรมในสัตว์เกิดจากสิ่งเร้าภายนอกเท่านั้น

....

...... 1.2 ปลาหลายชนิดว่ายน้ำสวนทางกับทิศทางของกระแสน้ำ ทำให้ไม่ถูกกระแสน้ำพัดพาไป จัดเป็นพฤติกรรมแบบโอเรียนเทชัน

....

...... 1.3 พฤติกรรมการใช้เหตุผลจัดเป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ที่พบมากในสัตว์ที่มีระบบประสาทไม่ซับซ้อน

....

...... 1.4 การร้องเตือนภัยของนกเมื่อมีศัตรูบุกรุกอาณาเขตเป็นการสื่อสารด้วยเสียง

....

...... 1.5 การศึกษาพฤติกรรมแนวพรอกซิเมตคอสเป็นการศึกษาในแง่กลไกการแสดงออกของพฤติกรรม และสิ่งเร้าที่ทำให้เกิดพฤติกรรม

....

...... 1.6 อวัยวะรับความรู้สึกจะเปลี่ยนสิ่งเร้าให้เป็นกระแสประสาทเข้าสู่หน่วยประมวลข้อมูลในไขสันหลังแล้วส่งคำสั่งไปยังหน่วยปฏิบัติงาน เพื่อแสดงพฤติกรรมที่เหมาะสม

....

...... 1.7 เมื่อสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง พฤติกรรมก็อาจเปลี่ยนแปลงได้บ้างเนื่องจากการเรียนรู้เพื่อให้อยู่รอดในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้ดียิ่งขึ้น

....

...... 1.8 พฤติกรรมที่พันธุกรรมมีบทบาทมากกว่าประสบการณ์มักเป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้

....

...... 1.9 พฤติกรรมที่มีแบบแผนแน่นอนเป็นพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด มีแบบแผนเฉพาะตัวและจะเหมือนกันในสัตว์สปีชีส์นั้น

....

...... 1.10 การฝังใจในสัตว์สามารถเกิดได้ทุกช่วงของชีวิต

....

...... 1.11 แฮบิชูเอชันเป็นพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดที่สัตว์ลดการตอบสนองต่อสิ่งเร้าเพราะสิ่งเร้านั้นไม่เกิดประโยชน์หรือโทษกับการดำรงชีวิตของตน

....

...... 1.12 การฝังใจเป็นพฤติกรรมของสัตว์แรกเกิดที่เรียนรู้ที่จะสร้างความผูกพันกับแม่หรือสัตว์ที่มีอายุมากกว่า ช่วยให้ลูกได้รับประโยชน์ในเรื่องความคุ้มครองจากอันตรายและการได้รับอาหาร

....

...... 1.13 ผู้ฝึกจะใช้อาหารเป็นตัวกระตุ้นให้สัตว์ที่ถูกฝึกเพื่อการแสดงทำตาม เป็นพฤติกรรมการลองผิดลองถูก

....

......1.14 สัตว์ที่มีระบบประสาทเจริญไม่ดี จะมีการแสดงพฤติกรรมที่ซับซ้อนได้

....

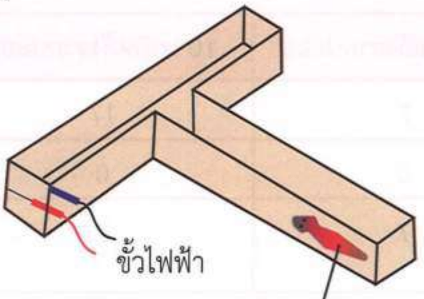
...... 1.15 สุนัขเพศผู้จะพองขนและโก่งตัวเมื่อพบกับสุนัขเพศผู้ตัวอื่น เป็นการสื่อสารด้วยท่าทาง

....

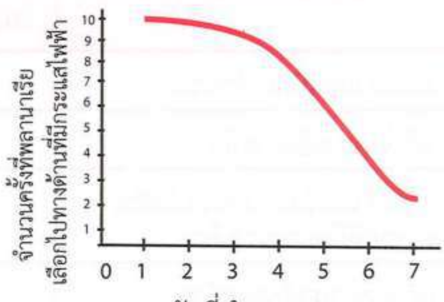
2. จงศึกษาพฤติกรรมของสัตว์ต่อไปนี้และระบุว่าเป็นพฤติกรรมแบบใด
   2.1 ผีเสื้อกลางคืนชนิดหนึ่งขณะที่กำลังบิน เมื่อได้รับสัญญาณเสียงความถี่สูงที่ปล่อยออกมาโดยค้างคาวที่เป็นผู้ล่า จะหุบปีกทันทีและตกลงสู่พื้นเพื่อหลบหนีจากผู้ล่า
   2.2 เมื่อชาวประมงส่องไฟจากเรือลงบนผิวน้ำในคืนเดือนมืด จะพบแพลงก์ตอนสัตว์จำนวนมากมารวมกลุ่มกันที่ผิวน้ำบริเวณใต้แสงไฟ
   2.3 เมื่อฉายแสงไปยังพลานาเรีย พลานาเรียจะตอบสนองต่อแสงด้วยการยืดตัวยาวออก แต่เมื่อกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าอ่อน ๆ พลานาเรียจะตอบสนองด้วยการหดตัวสั้นเข้า ถ้าให้แสงแล้วตามด้วยการปล่อยกระแสไฟฟ้าซ้ำหลายครั้ง พบว่าในที่สุดเมื่อให้แสงพลานาเรียจะยืดตัวและตามด้วยการหดตัวแม้ว่าจะยังไม่กระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า

3. จงสืบค้นพฤติกรรมของสัตว์ต่อไปนี้และบอกประโยชน์ที่สัตว์ได้รับจากการแสดงพฤติกรรม
   3.1 การชักใยของแมงมุม
   3.2 การรวมฝูงของปลา
   3.3 การที่แมวถูลำตัวกับเจ้าของหรือกับสิ่งต่าง ๆ
   3.4 การเดินตามกันของมด

4. นักเรียนคนหนึ่งทดลองโดยใช้กล่องรูปตัวที (T) ซึ่งใส่น้ำไว้เต็ม ปลายด้านหนึ่งมีกระแสไฟฟ้าอ่อน ๆ ดังรูป ก. นำพลานาเรียใส่ในกล่องเพื่อสังเกตการเคลื่อนที่ว่าจะเลือกไปในทางใด โดยทำการทดลอง 10 ครั้งในแต่ละวันเป็นเวลา 7 วัน บันทึกผลการทดลองได้ดังกราฟในรูป ข.



ก.



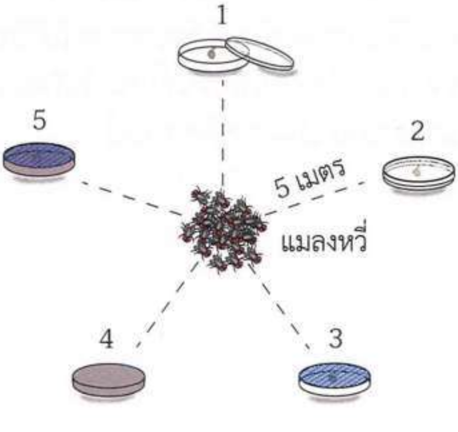
ข.

จากข้อมูลข้างต้น จงตอบคำถามต่อไปนี้

4.1 การแสดงพฤติกรรมของพลานาเรีย จัดเป็นพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้หรือไม่ เพราะเหตุใด

4.2 ถ้าหยุดทำการทดลองเมื่อครบ 7 วันแล้ว อีก 5 วันต่อมานำพลานาเรียตัวเดิมมาทำการทดลองอีก จำนวนครั้งที่พลานาเรียเลือกเคลื่อนที่ไปทางด้านที่มีกระแสไฟฟ้าจะแตกต่างจากวันที่ 7 ของการทดลองครั้งแรกหรือไม่ อย่างไร เพราะเหตุใด

5. เมื่อนำผลองุ่นที่เริ่มเน่าใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีลักษณะแตกต่างกัน 5 ชุด แล้วปล่อยแมลงหวี่ 20 ตัว ซึ่งอยู่ห่างจากจานเพาะเชื้อแต่ละชุดเป็นระยะทาง 5 เมตร ดังรูป



เมื่อเวลาผ่านไป 30 วินาที นับจำนวนแมลงหวี่ที่อยู่รอบจานเพาะเชื้อ และนับอีกครั้งเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

ลักษณะของจานเพาะเชื้อ	จำนวนแมลงหวี่ที่อยู่รอบจานเพาะเชื้อ (ตัว)	
	30 วินาทีหลังจากปล่อย	10 นาทีหลังจากปล่อย
1. แก้วใส และเปิดฝาด้านบน	7	17
2. แก้วใส และปิดฝาสนิท	0	0
3. แก้วใส และปิดฝาด้านบนไว้ด้วยตาข่ายที่มีช่องขนาดเล็ก	7	2
4. แก้วสีทึบ และปิดฝาสนิท	0	0
5. แก้วสีทึบ และปิดฝาด้านบนไว้ด้วยตาข่ายที่มีช่องขนาดเล็ก	6	1

จากข้อมูลข้างต้น จงตอบคำถามต่อไปนี้

5.1 สิ่งเร้าที่ทำให้เกิดพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของแมลงหวี่คืออะไร

5.2 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของแมลงหวี่เป็นพฤติกรรมแบบใด

5.3 จำนวนแมลงหวี่ที่เปลี่ยนแปลงไปใน 10 นาทีหลังจากปล่อย ควรมีสาเหตุจากอะไร

6. มดฤดูหนาว (*Prenolepis imparis*) พบได้ทั่วไปในทวีปอเมริกาเหนือ และเป็นมดที่ทำรังอยู่ใต้ดินในระดับลึก นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของมดชนิดนี้ โดยนับจำนวนมดที่พบบนพื้นดินทั้งหมดในรัศมี 10 เซนติเมตรจากปากทางเข้ารัง ที่ช่วงอุณหภูมิแตกต่างกัน ได้ผลการศึกษาดังนี้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	จำนวนมดที่พบในการนับแต่ละครั้ง (ตัว)
0-2	2
5-7	23
10-12	32
15-17	27
22-24	9
27-29	1

6.1 สิ่งเร้าที่ทำให้เกิดพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของมดไปยังปากรังคืออะไร

6.2 พฤติกรรมของมด จัดเป็นพฤติกรรมแบบใด

6.3 มดมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้านี้อย่างไร

6.4 ระหว่างฤดูร้อน (อุณหภูมิเฉลี่ย 24 องศาเซลเซียส) กับฤดูใบไม้ผลิ (อุณหภูมิเฉลี่ย 12 องศาเซลเซียส) ฤดูใดที่มีโอกาสพบมดบนผิวดินมากกว่ากัน เพราะเหตุใด

7. นกติ๊ดวิลโลวส์ (*Parus montanus*) พบได้ทั่วไปในเขตเมืองของประเทศฟินแลนด์ ซึ่งมักจะอยู่รวมเป็นฝูงใหญ่ นกภายในฝูงมักจะทำหน้าที่ระวังภัยให้กับฝูง โดยการส่งเสียงเตือนเมื่อมีสิ่งที่เป็นภัยคุกคามต่อฝูงนก นกตัวเต็มวัยสามารถปรับตัวให้อยู่กับมนุษย์ได้ สามารถกินอาหารที่มนุษย์วางไว้ และไม่แสดงอาการกลัวมนุษย์ แม้จะมีนกบางตัวในฝูงส่งเสียงเตือน นักวิทยาศาสตร์ได้เก็บข้อมูลการตอบสนองของนกตัวเต็มวัยและนกวัยอ่อนต่อเสียงเตือน โดยใช้วิธีอัดเสียงเตือนของนกสปีชีส์นี้แล้วมาเปิดให้นกตัวเต็มวัย 25 ตัว และนกวัยอ่อน 30 ตัว ซึ่งอาศัยอยู่บริเวณพุ่มไม้ในเขตเมือง โดยวางลำโพงซึ่งเปิดเสียงร้องของนกที่อัดไว้เป็นระยะทาง 5 เมตรจากพุ่มไม้ แล้วบันทึกพฤติกรรมที่แสดงออก ได้ผลการศึกษาดังนี้

พฤติกรรมของนก	การแสดงออกของพฤติกรรม (ร้อยละ)	
	นกตัวเต็มวัย	นกวัยอ่อน
บินหนีเข้าพุ่มไม้	42	79
บินหนีออกจากพุ่มไม้	5	10
ไม่ตอบสนองต่อเสียงเตือน	53	11

7.1 การแสดงพฤติกรรมของนกตัวเต็มวัยเป็นพฤติกรรมแบบใด

7.2 นกตัวเต็มวัยตอบสนองต่อเสียงเตือนอย่างไร แตกต่างจากนกวัยอ่อนหรือไม่ อย่างไร

8. นักวิทยาศาสตร์ทดลองผสมฟีโรโมนชนิด A และฟีโรโมนชนิด B ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อพัฒนากับดักล่อผีเสื้อกลางคืนสปีชีส์หนึ่งซึ่งเป็นแมลงศัตรูพืช โดยนำกับดักที่ใส่ฟีโรโมนทั้งสองชนิดนี้ไปวางล่อผีเสื้อกลางคืนในพื้นที่เปิด แล้วนับจำนวนผีเสื้อกลางคืนที่มาติดกับดัก ได้ผลการศึกษาดังนี้

กับดักชุดที่	อัตราส่วนฟีโรโมน (A : B)	จำนวนผีเสื้อกลางคืนเฉลี่ยที่ติดกับดัก (ตัว/วัน)
1	97 : 3	45
2	3 : 97	3
3	35 : 65	7
4	ไม่ใช้ฟีโรโมน	0

8.1 จากผลการศึกษา กับดักแต่ละชุดมีประสิทธิภาพในการล่อผีเสื้อกลางคืนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

8.2 ถ้านักเรียนเป็นเกษตรกรและต้องการลดการระบาดของผีเสื้อกลางคืนชนิดนี้ จะใช้กับดักชุดใด เพราะเหตุใด

8.3 ถ้าใช้ฟีโรโมนทั้งสองชนิดนี้ในอัตราส่วน ฟีโรโมนชนิด A : ฟีโรโมนชนิด B เท่ากับ 65 : 35 จำนวนผีเสื้อกลางคืนที่มาติดกับดักนี้ควรเป็นอย่างไร

ภาคผนวก

คำศัพท์

บทที่ 18		
ก	กระจกตา	cornea
	กระดูกโกลน	stapes
	กระดูกค้อน	malleus
	กระดูกทั่ง	incus
	กระแสประสาท	nerve impulse
	กล้ามเนื้อยึดเลนส์	ciliary muscle
ข	ไขสันหลัง	spinal cord
ค	คอเคลีย	cochlea
	โครอยด์	choroid
จ	จานประสาทตา	optic disc
	จุดบอด	blind spot
ช	ช่องกลวง	central canal
	ช่องโซเดียมที่มีประตู	voltage-gated Na^+ channel
	ช่องไซแนปส์	synaptic cleft
	ช่องที่มีประตู	gated channel
	ช่องที่ไม่มีประตู	ungated channel
	ช่องโพแทสเซียมที่มีประตู	voltage-gated K^+ channel
ซ	ซิมพาเทติก	sympathetic
	เซมิเซอร์คิวลาร์แคแนล	semicircular canal
	เซรีบรัม	cerebrum
	เซรีเบลลัม	cerebellum

ซ	เซลล์เกลีย	glia cell
	เซลล์ขน	hair cell
	เซลล์ชวันน์	Schwann cell
	เซลล์ประสาท	nerve cell
	เซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์	presynaptic neuron
	เซลล์ประสาทก่อนปมประสาท	pregaglionic neuron
	เซลล์ประสาทขั้วเดียว	unipolar neuron
	เซลล์ประสาทขั้วเดียวเทียม	pseudounipolar neuron
	เซลล์ประสาทประสานงาน	association neuron
	เซลล์ประสาทรับกลิ่น	olfactory neuron
	เซลล์ประสาทรับความรู้สึก	sensory neuron
	เซลล์ประสาทสองขั้ว	bipolar neuron
	เซลล์ประสาทสั่งการ	motor neuron
	เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์	postsynaptic neuron
	เซลล์ประสาทหลังปมประสาท	postganglion neuron
	เซลล์ประสาทหลายขั้ว	multipolar neuron
	เซลล์รับรส	taste cell หรือ gustatory cell
	เซลล์รูปแท่ง	rod cell
	เซลล์รูปกรวย	cone cell
	เซลล์โอลิโกเดนโดรไซต์	oligodendrocyte
	โซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม	sodium potassium pump; Na^+-K^+ pump
	ไซแนปส์	synapse
	ไซแนปส์เคมี	chemical synapse
	ไซแนปส์ไฟฟ้า	electrical synapse

ด	ดอร์ซัลฮอร์น	dorsal horn
	ดีโพลาไรเซชัน	depolarization
	เดนไดรต์	dendrite
ต	ตัวเซลล์	cell body
	ตุ่มรับรส	taste bud
ท	ท่อยูสเตเชียน	eustachian tube
	ทาลามัส	thalamus
	เทรสโฮลด์	threshold
น	นอกอำนาจจิตใจ	involuntary
	น้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลัง	cerebrospinal fluid; CSF
	นิวรอน	neuron
	นิวรัลทิวบ์	neural tube
	เนื้อสีขาว	white matter
	เนื้อสีเทา	gray matter
	โนดออฟรานเวียร์	node of Ranvier
บ	บริเวณที่รับความรู้สึก	receptive field
	แบบขั้นบันได	ladder type
ป	ปมประสาท	nerve ganglion
	ปมประสาทรากบน	dorsal root ganglion
	ปมประสาทอัตโนวัติ	autonomic ganglion
พ	พอนส์	pons
	พาพิลลา	papilla
	พาราซิมพาเทติก	parasympathetic
ฟ	โฟเวีย	fovea

ภ	ภาวะพัก	resting
	ภาวะมีขั้ว	polarization
ม	ม่านตา	iris
	เมดัลลาออบลองกาตา	medulla oblongata
ย	เยื่อแก้วหู	ear drum หรือ tympanic membrane
	เยื่อบุจมูก	olfactory membrane
	เยื่อไมอีลิน	myelin sheath
ร	ระบบประสาทโซมาติก	somatic nervous system; SNS
	ระบบประสาทรอบนอก	peripheral nervous system; PNS
	ระบบประสาทส่วนกลาง	central nervous system; CNS
	ระบบประสาทอัตโนวัติ	autonomic nervous system; ANS
	รากบน	dorsal root
	รากล่าง	ventral root
	ร่างแหประสาท	nerve net
	รีโพลาไรเซชัน	repolarization
	รีเฟล็กซ์	reflex
	รีเฟล็กซ์แอกชัน	reflex action
	รูม่านตา	pupil
	เรตินอล	retinol
	เรตินา	retina
	โรดอพซิน	rhodopsin
ล	เลนส์ตา	lens
ว	เวนทรัลฮอร์ล	ventral horn
ศ	ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ระยะพัก	resting membrane potential

ส	สเคลอรา	sclera
	สมอง	brain
	สมองส่วนกลาง	midbrain
	สมองส่วนหน้า	forebrain
	สมองส่วนหลัง	hindbrain
	ส่วนที่รับความรู้สึก	sensory division
	ส่วนที่สั่งการ	motor division
	สัญญาณเคมีไฟฟ้า	electrochemical signal
	สารสื่อประสาท	neurotransmitter
	สิ่งเร้า	stimulus
	สู้หรือหนี	fight-or-flight
	เส้นประสาทขนาดใหญ่	nerve cord
	เส้นประสาทขนาดใหญ่ด้านท้อง	ventral nerve cord
	เส้นประสาทไขสันหลัง	spinal nerve
	เส้นประสาทตามขวาง	transverse nerve
	เส้นประสาทผสม	mixed nerve
	เส้นประสาทรับกลิ่น	olfactory nerve
	เส้นประสาทรับความรู้สึก	sensory nerve
	เส้นประสาทรับเสียง	auditory nerve
	เส้นประสาทสมอง	cranial nerve
	เส้นประสาทสั่งการ	motor nerve
	เส้นใยประสาท	nerve fiber
ห	หนังกำพร้า	epidermis
	หนังแท้	dermis

อ	ออพซิน	opsin
	อะเซทิลโคลีน	acetylcholine
	อัลแฟกทอรีบัลบ์	olfactory bulb
	อูมามิ	umami
	เอ็นยึดเลนส์	suspensory ligament
	แอกชันโพเทนเชียล	action potential
	แอกซอน	axon
	แอมพูลลา	ampulla
ฮ	ไฮเพอร์โพลาไรเซชัน	hyperpolariztion
	ไฮโพทาลามัส	hypothalamus
	บทที่ 19	
ก	กระดูกแกน	axial skeleton
	กระดูกรยางค์	appendicular skeleton
	กระดูกอ่อน	cartilage
	กล้ามเนื้อโครงร่าง	skeletal muscle
	กล้ามเนื้อตามยาว	longitudinal muscle
	กล้ามเนื้อเรียบ	smooth muscle
	กล้ามเนื้อวง	circular muscle
	กล้ามเนื้อหัวใจ	cardiac muscle
	การเคลื่อนที่แบบอะมีบา	amoeboid movement
ข	ข้อต่อ	joint
ค	โครงร่างแข็งภายใน	endoskeleton
ค	โครงร่างภายนอก	exoskeleton
จ	เจล	gel

ช	ช่องว่างภายในลำตัว	mantle cavity
ซ	ซอล	sol
	ซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัม	sarcoplasmic reticulum
	ซาร์โคเมียร์	sarcomere
	เซลล์กล้ามเนื้อ	muscle cell
	ไซฟอน	siphon
ด	เดือย	setae
	ไดนีนอาร์ม	dynein arm
ต	ไตรเซพ	tricep
ท	ทิวบ์ฟีท	tube feet
	เท้าเทียม	pseudopodium
น	น้ำไขข้อ	synovial fluid
บ	เบซัลบอดี	basal body
	ไบเซพ	bicep
พ	เพอริสตัลซิส	peristalsis
	โพเดียม	podium
ฟ	เฟล็กเซอร์	flexor
ม	มาดรีโพไรต์	madreporite
	มีโซเกลีย	mesoglea
	ไมโอซิน	myosin
ร	ระบบกล้ามเนื้อ	muscular system
	ระบบโครงกระดูก	skeleton system
	ระบบท่อน้ำ	water vascular system

ส	สมมติฐานการเลื่อนของฟิลาเมนท์	sliding filament hypothesis
	เส้นใยกล้ามเนื้อ	muscle fiber
	เส้นใยกล้ามเนื้อเล็ก	myofibril
ห	หมอนรองกระดูก	intervertebral disc
อ	เอ็กเทนเซอร์	extensor
	เอ็กโทพลาซึม	ectoplasm
	เอนโดพลาซึม	endoplasm
	เอ็นยึดกระดูก	tendon
	เอ็นยึดข้อ	ligament
	แอกทิน	actin
ฮ	ไฮโดรสแตติกสเกเลตอน	hydrostatic skeleton
บทที่ 20		
ก	กลุ่มอาการคูชิง	Cushing's syndrome
	กลูคากอน	glucagon
	กลูโคคอร์ทิคอยด์	glucocorticoids
	การควบคุมแบบป้อนกลับ	feedback control
	แกสทริน	gastrin
	โกนาโดโทรฟิน	gonadotrophin; Gn
	โกนาโดโทรฟินรีลีสซิงฮอร์โมน	gonadotrophin-releasing hormone; GnRH
	โกรทฮอร์โมน	growth hormone; GH
	โกรทฮอร์โมนรีลีสซิงฮอร์โมน	growth hormone-releasing hormone; GHRH
	โกรทฮอร์โมนอินฮิบิทิงฮอร์โมน	growth hormone-inhibiting hormone; GHIH

ค	คอร์ทิโคโทรพินรีลีสซิงฮอร์โมน	corticotropin-releasing hormone; CRH
	คอร์ทิซอล	cortisol
	คอลีซิสโทไคนิน	cholecystokinin
	เครทินิซึม	cretinism
	แคลซิโทนิน	calcitonin
ซ	ซีครีทิน	secretin
	เซลล์ซี หรือเซลล์พาราฟอลลิคิวลาร์	C-cell หรือ parafollicular cell
	เซลล์นิวโรซีครีทอรี	neurosecretory cell
	เซลล์บีตา	β-cell
	เซลล์อินเตอร์สติเชียล หรือเซลล์เลย์ดิก	interstitial cell หรือ Leydig cell
	เซลล์แอลฟา	α-cell
	โซมาโตโทรฟิน	somatotrophin หรือ somatotrophic hormone; STH
ด	โดพามีน	dopamine
ต	ต่อมใต้สมองส่วนหน้า	anterior pituitary gland
	ต่อมใต้สมองส่วนหลัง	posterior pituitary gland
	ต่อมพาราไทรอยด์	parathyroid gland
	ต่อมไพเนียล	pineal gland
	ต่อมมีท่อ	exocrine gland
	ต่อมไร้ท่อ	endocrine gland
	ต่อมหมวกไต	adrenal gland
	ต่อมหมวกไตส่วนนอก	adrenal cortex
	ต่อมหมวกไตส่วนใน	adrenal medulla
	ตับอ่อน	pancreas

ท	เทสโทสเทอโรน	testosterone
	ไทโมซิน	thymosin
	ไทรอยด์รีลีสซิงฮอร์โมน	thyroid-releasing hormone; TRH
	ไทรอยด์สติมิวเลติงฮอร์โมน	thyroid-stimulating hormone; TSH
น	นอร์เอพิเนฟริน หรือนอร์อะดรีนาลีน	norepinephrine หรือ noradrenaline
บ	แบบป้อนกลับกระตุ้น	positive feedback
	แบบป้อนกลับยับยั้ง	negative feedback
พ	พาราทอร์โมน	parathormone
	พาราไทรอยด์ฮอร์โมน	parathyroid hormone; PTH
	โพรเจสเทอโรน	progesterone
	โพรแลกทิน	prolactin
	โพรแลกทินอินฮิบิทิงฮอร์โมน	prolactin-inhibiting hormone; PIH
ฟ	ฟอลลิเคิลสติมิวเลติงฮอร์โมน	follicle-stimulating hormone; FSH
	ฟีโรโมน	pheromone
ม	มิกซีดีมา	myxedema
	มิเนราโลคอร์ทิคอยด์	mineralocorticoids
	เมลาโทนิน	melatonin
ร	ระบบต่อมไร้ท่อ	endocrine system
ล	ลูทิไนซิงฮอร์โมน	luteinizing hormone; LH
ว	วาโซเพรสซิน	vasopressin
ส	สภาพแคระ	dwarfism
	สภาพร่างยักษ์	gigantism
อ	ออกซิโทซิน	oxytocin
	อะโครเมกาลี	acromegaly

อ	อะดรีโนคอร์ทิโคโทรพิกฮอร์โมน	adrenocorticotropic hormone; ACTH
	อินซูลิน	insulin
	อีรีโทรโพอิทิน	erythropoietin
	อีสโทรเจน	estrogen
	เอนดอร์ฟิน	endorphin
	เอพิเนฟริน หรืออะดรีนาลีน	epinephrine หรือ adrenaline
	แอนโดรเจน	androgen
	แอนติไดยูเรติกฮอร์โมน	antidiuretic hormone; ADH
	แอลโดสเทอโรน	aldosterone
	ไอส์เลตออฟลังเกอร์ฮันส์	islets of Langerhans
ฮ	ฮอร์โมน	hormone
	ฮอร์โมนกระตุ้น	releasing hormone
	ฮอร์โมนประสาท	neurohormone
	ฮอร์โมนยับยั้ง	inhibiting hormone
	ฮิวแมนคอริโอนิกโกนาโดโทรฟิน	human chorionic gonadotrophin; hCG
	บทที่ 21	
ก	การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ	asexual reproduction
	การแตกหน่อ	budding
	กระบวนการสร้างเซลล์ไข่	oogenesis
	กระบวนการสร้างสเปิร์ม	spermatogenesis
	กะเทย	hermaphrodite
	การงอกใหม่	regeneration
	การเจริญ	development
	การตกไข่	ovulation

ก	การเติบโต	growth
	การแบ่งแยกตัว	fission
	การปฏิสนธิ	fertilization
	การปฏิสนธิภายนอก	external fertilization
	การปฏิสนธิภายใน	internal fertilization
	การเปลี่ยนสภาพ	differentiation
	การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ	sexual reproduction
	แกสทรูลา	gastrula
	แกสทรูเลชัน	gastrulation
ข	ไข่แดง	yolk
ค	คลีเวจ	clevage
	คอร์ปัสลูเทียม	corpus luteum
	คอเรียน	chorion
ช	ช่องคลอด	vagina
ซ	เซลล์ไข่	egg cell หรือ ovum
	ไซโกต	zygote
ต	ต่อมคาวเปอร์	Cowper's gland หรือ bulbourethral gland
	ต่อมลูกหมาก	prostate gland
	ต่อมสร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ	seminal vesicle
	ตัวอ่อน	larva
ถ	ถุงไข่แดง	yolk sac
	ถุงน้ำคร่ำ	amnion
	ถุงอัณฑะ	scrotum
ท	ท่อนำไข่	oviduct หรือ fallopian tube

ท	ท่อปัสสาวะ	urethra
น	น้ำคร่ำ	amniotic fluid
	น้ำอสุจิ	semen
บ	บลาสทูลา	blastula
	บลาสโทซิสต์	blastocyst
	บลาสโทซีล	blastocoel
	บลาสโทพอร์	blastopore
ป	ประจำเดือน	menstruation
	ปากมดลูก	cervix
พ	โพลาร์บอดี	polar body
ฟ	ฟอลลิเคิล	follicle
	ฟีตัส	fetus
ม	มดลูก	uterus
	มอร์โฟเจเนซิส	morphogenesis
	เมโซเดิร์ม	mesoderm
	เมทามอร์โฟซิส	metamorphosis
ร	รก	placenta
	ระบบสืบพันธุ์	reproductive system
	รังไข่	ovary
ส	สเปอร์มาทิด	spermatid
	สเปอร์มาโทโกเนียม	spermatogonium
	สเปอร์มาโทไซต์ระยะที่สอง	secondary spermatocyte
	สเปอร์มาโทไซต์ระยะแรก	primary spermatocyte
	สเปิร์ม หรือ อสุจิ	sperm
	สายสะดือ	umbilical cord

ห	หลอดเก็บอสุจิ	epididymis
	หลอดนำอสุจิ	vas deferens
	หลอดสร้างอสุจิ	seminiferous tubule
อ	องคชาต	penis
	ออร์แกโนเจเนซิส	organogenesis
	อะโครโซม	acrosome
	อัณฑะ	testis
	เอ็กโทเดิร์ม	ectoderm
	เอนโดเดิร์ม	endoderm
	เอนโดมีเทรียม	endometrium
	เอ็มบริโอ	embryo
	แอลแลนทอยส์	allantois
	โอโอโกเนียม	oogonium
	โอโอไซต์ระยะที่สอง	secondary oocyte
	โอโอไซต์ระยะแรก	primary oocyte

บทที่ 22

ก	การเชื่อมโยง	associative learning
	การใช้เหตุผล	reasoning
	การฝังใจ	imprinting
	การมีเงื่อนไข	classical conditioning
	การลองผิดลองถูก	trial and error หรือ operant conditioning
	การสื่อสารด้วยการสัมผัส	tactile communication
	การสื่อสารด้วยท่าทาง	visual communication
	การสื่อสารด้วยสารเคมี	chemical communication

ก	การสื่อสารด้วยเสียง	auditory communication
ค	ไคเนซิส	kinesis
ท	แทกซิส	taxis
พ	พรอกซิเมตคอส	proximate cause
	พฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้	learned behavior
	พฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิด	innate behavior หรือ inherited behavior
ฟ	ฟิกซ์แอกชันแพทเทิร์น	fixed action pattern
	ฟีโรโมน	pheromone
ร	รีเฟล็กซ์	reflex
	รีเฟล็กซ์ต่อเนื่อง	chain of reflexes หรือ stimulus-response chain
ล	ลำดับชั้นทางสังคม	social hierarchy
อ	อัลทิเมตคอส	ultimate cause
	โอเรียนเทชัน	orientation
ฮ	แฮบิชูเอชัน	habituation

บรรณานุกรม

ช่อผกา วิจิตรตระกูลชัย, ประทีป ด้วงแค และวิจักขณ์ ฉิมโฉม. (2558). ลักษณะเสียงร้องของชะนีมือขาวเพศผู้ (*Hylobates lar*) ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี. **วารสารสัตว์ป่าเมืองไทย**, 22(1), 191-202.

ไพศาล สิทธิกรกุล และศิวาพร ลงยันต์. (2557). **กายวิภาคของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง Anatomy of The Invertebrates** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : บริษัท ซัคเซสพับลิเคชั่น.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2560). **พจนานุกรมศัพท์พันธุศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6** กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6** กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สุนทร โสตถิพันธุ์. (2534). **พฤติกรรมของสัตว์**. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 167 หน้า.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2546). **ศัพท์วิทยาศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ไทย-อังกฤษฉบับราชบัณฑิตยสถาน** (พิมพ์ครั้งที่ 5 แก้ไขเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.

Alcock, J. (2013). **Animal behavior: An evolutionary approach** (10th ed.). Sunderland, MA, US: Sinauer Associates.

Barrett, C. E., Keebaugh, A. C., Ahern, T. H., Bass, C. E., Terwilliger, E. F., & Young, L. J. (2013). Variation in vasopressin receptor (*Avpr1a*) expression creates diversity in behaviors related to monogamy in prairie voles. **Hormones and behavior**, 63(3), 518-526.

Blamires, S. J., Zhang, S., & Tso, I. M. (2017). Webs: Diversity, Structure and Function. In **Behaviour and Ecology of Spiders** (pp. 137-164). Springer, Cham.

Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2018). **Biology: A global approach** (11^{th} ed). New York: Pearson Education Limited.

Chen, L. C., & Martinich, R. L. (1975). Pheromonal stimulation and metabolite inhibition of ovulation in the zebrafish, *Brachydanio rerio*. **Fishery Bulletin** 73(4), 889-893.

Covino, K. M., Morris, S. R., & Moore, F. R. (2015). Patterns of testosterone in three Nearctic–Neotropical migratory songbirds during spring passage. **General and comparative endocrinology**, 224, 186-193.

Gill, F. B. (1995). **Ornithology**. New York: W.H. Freeman.

Griffin, A. S., Blumstein, D. T., & Evans, C. S. (2000). Training captive-bred or translocated animals to avoid predators. **Conservation biology**, 14(5), 1317-1326.

Johnson, G. B., & Losos, J. B. (2017). **Essentials of the living world** (10^{th} ed). New York: McGraw-Hill.

Kardong, V.K. (2019). Vertebrates: **Comparative Anatomy Evolution** (8^{th} ed). New York: McGraw-Hill.

Krebs, J. R., & Davies, N. B. (2009). **Behavioural Ecology: An Evolutionary Approach**. Hoboken: John Wiley & Sons.

Mader, S. S., Windelspecht, M. (2016). **Biology** (12^{th} ed). New York: McGraw-Hill Education.

Rajala, M., Rätti, O., & Suhonen, J. (2003). Age differences in the response of willow tits (*Parus montanus*) to conspecific alarm calls. **Ethology**, 109(6), 501-509.

Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2014). **Biology** (10^{th} ed). Boston: Pearson.

Rossi, M. Cicconofri, G., Beran, A., Noselli, G., and DeSimone, A. (2017). Kinematics of flagellar swimming in *Euglena gracilis*.: Helical trajectories and flagellar shapes. **PNAS**, 114(50), 13085-13090.

Sadava, D. E., Heller, H. C., Purves, W. K., Orians, G. H., & Hillis, D. M. (2008). **Life: The science of biology**. New York: W.H. Freeman.

Saladin, K.S. (2018). **Anatomy & Physiology : The Unity of Form and Function** (8^{th} ed). New York: McGraw-Hill Education, Inc.

Shier, D., Butler, J., & Lewis, R. (2009). **Hole's essential of Human Anatomy & Physiology** (10^{th} ed). New York: McGraw-Hill Education, Inc.

Skinner, B. F. (1938). **The Behavior of Organisms: An Experimental Analysis**. Cambridge, Massachusetts: B.F. Skinner Foundation.

Soldati, F., Burman, O. H., John, E. A., Pike, T. W., & Wilkinson, A. (2017). Long-term memory of relative reward values. **Biology letters**, 13(2), 20160853.

Talbot, M. (1943). Response of the ant *Prenolepis imparis* Say to temperature and humidity Changes. **Ecology**, 24(3), 345–352.

Tinbergen, N., & Perdeck, A. C. (1950). On the stimulus situation releasing the begging response in the newly hatched Herring Gull chick (*Larus argentatus argentatus* Pont.). **Behaviour**, 3, 1-39.

VanPutte, C., Regan, J., Russo, A., Seeley, R., Stephen, T., Tate, P. (2017). **Seeley's Anatomy & Physiology** (11^{th} ed). New York: McGraw-Hill Education, Inc.

Webster, R. P., Charlton, R. E., Schal, C., & Cardé, R. T. (1986). High-efficiency pheromone trap for the European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae). **Journal of economic entomology**, 79(4), 1139-1142.

Widmaier, E.P., Raff, H., Strang, K. T. (2016). **Vander's Human Physiology: The Mechanisms of Body Function** (14th ed). New York: McGraw-Hill Education, Inc.

ที่มาของรูป

ที่มา	รูป (หน้า)
เอื้อเฟื้อโดย นางสาววริยา นาวีปัญญาธรรม	- นักเปียโนกำลังเล่นเพลง (1)
quangmooo/shutterstock_1095006827	- หุ่นยนต์สุนัข (69)
เอื้อเฟื้อสถานที่ถ่ายภาพโดย โรงเรียนปทุมคงคา กรุงเทพฯ	- สนามกีฬา (101)
เอื้อเฟื้อโดย ศ.ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	- 18.6 (9) - 19.20 (91) - 20.10 (114) - 20.13 (116) - 20.15 (118) - 20.18 (123) - 20.19 (123)
เอื้อเฟื้อโดย ผศ.ดร.พงชัย หาญยุทธนากร และว่าที่ร้อยตรีศักรินทร์ แสนสุข ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	- 19.14 (84)
เอื้อเฟื้อโดย นางวรรณวิภางค์ รัตนานุกูล	- การตรวจติดตามการเจริญเติบโตของลูกด้วยอัลตราซาวด์ (143)
Majna/shutterstock_503654305	- 21.7 (149)
เอื้อเฟื้อโดย อ.ดร.ณัฐพจน์ วาฤทธิ์ และนายวรัตถ์ ศิวายพราหมณ์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	- ผึ้งนางพญา ผึ้งงาน และผึ้งเพศผู้ (150)

ที่มา	รูป (หน้า)
เอื้อเฟื้อโดย Peter Prokosh http://www.grida.no/resources/2327 http://www.grida.no/resources/2342 http://www.grida.no/resources/2539 http://www.grida.no/resources/3132	 - สิงโตเพศผู้ (148) - สิงโตเพศเมีย (148) - ลูกสิงโต (148) - 21.23 (178)
tee262/shutterstock_1120271180	- นกกระจาบทองกำลังสร้างรัง (191)
Pudding4brains [Public domain], via Wikimedia Commons http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/Porcellio_scaber_and_Oniscus_asellus_-_Zaln%C3%A920070205.jpg	- 22.4 ค. (200)
เอื้อเฟื้อโดย คุณอัจฉรา แก้วคงตา	- 22.5 ก. (203)
เอื้อเฟื้อโดย นางปรีญา จันทร์เทพ	- 22.7 (205)
TravelMediaProductions/shutterstock_27821335	- 22.9 (206)
EcoPrint/shutterstock_185656805	- 22.15 (216)
เอื้อเฟื้อโดย คุณฐิติพงศ์ สุขไพบูลย์วัฒน์	- 22.17 ก. (217)

คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม 5 ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะที่ปรึกษา

1. ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์	ผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 5

1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ศ.ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์	ผู้อำนวยการสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. รศ.ดร.วีระวรรณ สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5. นางเพ็ชรรัตน์ ศรีวิลัย	ผู้เชี่ยวชาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7. นายณรงค์ พ่วงศรี	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8. ดร.สุนัดดา โยมญาติ	ผู้ชำนาญสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

9. นางสาววิลาส รัตนานุกูล นักวิชาการอาวุโสสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
10. ดร.นันทยา อัครอารีย์ นักวิชาการสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
11. นางสาวปาณิก เวียงชัย นักวิชาการสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
12. ดร.ธเณศ เกิดแก้ว นักวิชาการสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้ร่วมพิจารณาหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 5

1. ผศ.ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ผศ.ดร.นพดล กิตนะ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. อ.ดร.สพ.ญ.วัชราภรณ์ ติยะสัตย์กุลโกวิท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. นางกัลยารัตน์ นาคีย์ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.สกลนคร
6. นางสาวจันทรัสม์ สัตตรัตนขจร โรงเรียนเสริมงามวิทยาคม จ.ลำปาง
7. นางสาวจันทรา เป็นสุข โรงเรียนจอมพระประชาสรรค์ จ.สุรินทร์
8. นางสาวจันทิมา มีลา โรงเรียนเรณูนครวิทยานุกูล จ.นครพนม
9. นางสาวชยาภา พุ่มสมบัติ โรงเรียนขาณุวิทยา จ.กำแพงเพชร
10. นางนันท์นลิน เพชรรักษ์ โรงเรียนเทศบาล ๑ (เอ็งเสียงสามัคคี) จ.สงขลา
11. นางสาวน้ำรินทร์ ก้อนเพชร โรงเรียนเทพลีลา กรุงเทพมหานคร
12. นายปรัชญา ละงู โรงเรียนเมืองถลาง จ.ภูเก็ต
13. นางพจนีย์ ปลื้มมะลัง โรงเรียนลำสนธิวิทยา จ.ลพบุรี
14. นายรัฐราษฎร์ เกื้อสกุล โรงเรียนสุรศักดิ์มนตรี กรุงเทพมหานคร
15. นางลักขณา รัตนพิทยาภรณ์ โรงเรียนวิสุทธิรังษี จ.กาญจนบุรี
16. นายวิวัฒน์ บุญธรรม โรงเรียนโยธินบูรณะ ๒ (สุวรรณสุทธาราม) กรุงเทพมหานคร

17. นางสาวศศิธร บัวลา	โรงเรียนพระหฤทัย จ.เชียงใหม่
18. นางสาวอรนุช เฉยฉิว	โรงเรียนปากช่อง จ.นครราชสีมา
19. นายอาทิวราห์ ไตรภูมิ	โรงเรียนหนองพลับวิทยา จ.ประจวบคีรีขันธ์
20. ดร.อรสา ชูสกุล	ผู้ชำนาญสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
21. ดร.ขวัญชนก ศรัทธาสุข	นักวิชาการสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
22. ดร.ภัณฑิลา อุดร	นักวิชาการสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
23. นางสาวปุณยาพร บริเวธานันท์	นักวิชาการสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะบรรณาธิการ

1. รศ.ดร.ธีระพงษ์ บัวบูชา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ผศ.ดร.ชัชวาล ใจซื่อสกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.นพดล กิตนะ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. อ.ดร.สพ.ญ.วัชราภรณ์ ติยะสัตย์กุลโกวิท	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. ศ.ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์	ผู้อำนวยการสาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ชีววิทยา เล่ม ๕ **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.๒๕๖๐)**
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ **เวลา ๖๐ ชั่วโมง จำนวน ๑.๕ หน่วยกิต**

ศึกษาเกี่ยวกับการรับรู้และการตอบสนองของสัตว์ โครงสร้างและการทำงานของเซลล์ประสาท ศูนย์ควบคุมระบบประสาทของมนุษย์ การทำงานของระบบประสาท อวัยวะรับความรู้สึก การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง สัตว์มีกระดูกสันหลัง รวมทั้งการเคลื่อนที่ของมนุษย์ ศึกษาระบบต่อมไร้ท่อ การทำงานร่วมกันของระบบต่อมไร้ท่อและระบบประสาท ฮอร์โมนและการทำงานของฮอร์โมน การรักษาสมดุลของฮอร์โมน การสืบพันธุ์ของสัตว์และมนุษย์ การเจริญเติบโตของสัตว์ การศึกษาพฤติกรรมของสัตว์ กลไกการเกิดพฤติกรรม ประเภทพฤติกรรมของสัตว์ ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมและวิวัฒนาการของระบบประสาท และการสื่อสารระหว่างสัตว์ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปรายและสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ และมีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ของระบบประสาทของไฮดรา พลานาเรีย ไส้เดือนดิน กุ้ง หอย แมลงและสัตว์มีกระดูกสันหลัง
๒. อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ประสาท
๓. อธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทและกลไกการถ่ายทอดกระแสประสาท
๔. อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทรอบนอก
๕. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ในสมองส่วนหน้า สมองส่วนกลาง สมองส่วนหลัง และไขสันหลัง
๖. สืบค้นข้อมูล อธิบาย เปรียบเทียบ และยกตัวอย่างการทำงานของระบบประสาทโซมาติกและระบบประสาทอัตโนวัติ
๗. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของ ตา หู จมูก ลิ้น และผิวหนังของมนุษย์ ยกตัวอย่างโรคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และบอกแนวทางในการดูแลป้องกันและรักษา
๘. สังเกต และอธิบายการหาตำแหน่งของจุดบอด โฟเวีย และความไวในการรับสัมผัสของผิวหนัง
๙. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของแมงกะพรุน หมึก ดาวทะเล ไส้เดือนดิน แมลง ปลา และนก
๑๐. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของกระดูกและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวและการเคลื่อนที่ของมนุษย์
๑๑. สังเกตและอธิบายการทำงานของข้อต่อชนิดต่าง ๆ และการทำงานของกล้ามเนื้อโครงร่างที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวและการเคลื่อนที่ของมนุษย์
๑๒. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเขียนแผนผังสรุปหน้าที่ของฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อที่สร้างฮอร์โมน
๑๓. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในสัตว์
๑๔. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะในระบบสืบพันธุ์เพศชายและระบบสืบพันธุ์เพศหญิง
๑๕. อธิบายกระบวนการสร้างสเปิร์ม กระบวนการสร้างเซลล์ไข่ และการปฏิสนธิในมนุษย์
๑๖. อธิบายการเจริญเติบโตระยะเอ็มบริโอและระยะหลังเอ็มบริโอของกบ ไก่ และมนุษย์
๑๗. สืบค้นข้อมูล อธิบาย เปรียบเทียบ และยกตัวอย่างพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดและพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ของสัตว์
๑๘. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมกับวิวัฒนาการของระบบประสาท
๑๙. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างการสื่อสารระหว่างสัตว์ที่ทำให้สัตว์แสดงพฤติกรรม

รวมทั้งหมด ๑๙ ผลการเรียนรู้

พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว นายดิศกุล เกษมสวัสดิ์ ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา พ.ศ. 2563

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ISBN 978-616-362-911-1
9 786163 629111
ราคา 88.00 บาท

www.suksapun.com

ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์
พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว
นายดิศกุล เกษมสวัสดิ์ ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา
๖๓๐๐๑๔๙

องค์การค้าของ สกสค.
www.suksapan.or.th